



Universidad
Politécnica
de Cartagena



industriales
etsii UPCT

Procedimientos para la verificación in situ del aislamiento acústico según el DB-HR del Código Técnico de la Edificación

Titulación: Ingeniero Técnico Industrial

Intensificación: Mecánica

Alumno: Salvador Liarte García

Director: Gregorio Munuera Saura

Cartagena, 6 de Septiembre de 2013

Índice general

Capítulo 1. Introducción.	6
1.1. Objetivos.	7
1.2. Metodología empleada.	8
1.3. Estructura del proyecto.	8
Capítulo 2. Marco legal en el aislamiento acústico.	9
2.1. Los requisitos esenciales de la LOE al CTE.	9
2.2. Objetivos del Documento Básico DB HR.	11
2.3. La Ley del ruido.	11
2.3.1. La edificación.	12
2.3.2. La ordenación del territorio y al planeamiento urbanístico.	13
2.4. El DB-HR y la Ley del ruido.	13
2.5. La Norma UNE-EN ISO 140-4.	15
2.6. La Norma UNE-EN ISO 717-1.	16
2.7. La legislación en la edificación.	16
2.8. Diferencias entre la NBE CA 88 y el DB-HR del CTE.	18
2.9. Otros documentos oficiales. El Catálogo de Elementos Constructivos.	20
2.10. Conceptos del reglamento.	20
2.10.1. Aislamiento acústico.	21
2.10.2. Transmisiones a ruido de impactos.	24
2.10.3. Las magnitudes de aislamiento acústico.	26
2.10.4. Aislamiento acústico en elementos constructivos mixtos.	29
2.10.5. Acondicionamiento acústico.	30
Capítulo 3. Fundamentos de aislamiento.	32
3.1. Conceptos.	32
3.2. El sonido y la presión sonora.	35
3.2.1. El decibelio.	37
3.2.2. Ponderación temporal de la presión sonora: RMS y L_e .	40
3.2.3. Frecuencias de muestreo.	42
3.2.4. Filtros de octava y tercio de octava (espectros).	42
3.2.5. Ponderación frecuencial A.	44
3.3.- Comportamiento del sonido en un recinto.	46
3.3.1. Tiempo de reverberación.	48
3.3.2. Fórmula de Sabine para el tiempo de reverberación.	49
3.4. Aislamiento a ruido aéreo.	51
3.4.1. Zona de rigidez.	52
3.4.2. Zona de resonancia.	52
3.4.3. Zona controlada por la Ley de masa.	53
3.4.4. Zona controlada por el efecto de coincidencia.	54
3.4.5. Tabique de doble hoja.	57
3.4.6. Medidas en Laboratorio y en campo.	58
3.5. Materiales acústicos.	59
Capítulo 4. Documento Básico HR.	63
4.1. Conformidad con las exigencias.	64
4.2. Tipos de recinto.	65
4.2.1. Tipos de unidades de uso.	67
4.3. Método de predicción del aislamiento acústico a ruido aéreo de particiones interiores del edificio.	67
4.4. Parámetros de medida utilizados en el CTE.	68
4.4.1. Aislamiento acústico de elementos.	69
4.4.2. Aislamiento acústico medido in situ entre recintos.	73
4.4.3. Modelos de cálculo.	75
4.5. Valores límite de aislamiento, tiempo de reverberación y ruido y vibraciones.	86
4.5.1. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo.	86
4.5.2. Valores límite de aislamiento a ruido de impactos.	89
4.5.3. Valores límite de tiempo de reverberación.	90
4.5.4. Valores límite de ruido y vibraciones de las instalaciones.	90



4.6. Soluciones recogidas por el CTE en el catálogo de elementos constructivos.	91
4.7. Recomendaciones.	102
Capítulo 5. Perfiles de Calidad.	105
5.1. Conceptos básicos.	106
5.2. Estructura del Perfil de Calidad.	107
5.3. Objeto del requisito protección frente al ruido (HR).	108
5.4. Niveles.	108
5.5. Límites de aislamiento acústico exigidos para cada perfil de calidad.	109
5.6. Soluciones constructivas para fachadas.	124
5.6.1. Solución para el nivel de exigencia básico.	125
5.6.2. Solución para el nivel de exigencia notable.	125
5.6.3. Solución para el nivel de exigencia excelente.	126
5.7. Soluciones para elementos de separación vertical medidas in situ.	127
5.7.1. Solución para el nivel de exigencia básico.	127
5.7.2. Solución para el nivel de exigencia notable.	128
5.7.3. Solución para el nivel de exigencia excelente.	129
5.8. Valor ponderado del perfil de calidad en fase de proyecto.	130
5.8.1. Ejemplo de cálculo del nivel global del perfil de calidad.	132
5.9. Verificación en obra terminada.	133
5.9.1. Ejemplo de Verificación de obra terminada.	136
Capítulo 6. Procedimientos de medida.	138
6.1. UNE-EN ISO 140-4.	138
6.1.1. Definiciones.	138
6.1.2. Disposición del ensayo.	138
6.1.3. Proceso y evaluación del ensayo.	139
6.1.4. Medición del nivel medio de presión sonora.	140
6.1.5. Rango de frecuencias de las mediciones.	141
6.1.6. Precisión.	142
6.1.7. Expresión de los resultados.	142
6.1.8. Calificación y posicionamiento de la fuente sonora.	143
6.1.9. Informe del ensayo.	145
6.2. UNE EN-ISO 717-1.	146
6.2.1. Definiciones.	147
6.2.2. Procedimiento para la evaluación de magnitudes globales.	148
6.2.3. Valores de referencia.	149
6.2.3. Espectros sonoros.	150
6.2.4. Método de comparación.	152
6.2.5. Cálculo de los términos de adaptación espectral.	153
6.2.6. Expresión de los resultados.	154
6.2.7. Conclusiones.	155
6.2.8. Ejemplo de medición real según método ISO 717.	156
6.3. Disposición en la medición.	159
6.4. Ejemplo de equipo para mediciones.	159
Capítulo 7. Conclusiones.	163



Índice figuras

Figura 1.1 Procedimientos de medida aislamiento a ruido aéreo.	7
Figura 2.1. De la LOE al DB HR.	10
Figura 2.2. Relación entre la Ley del Ruido y el DB HR Protección frente al ruido.	14
Figura 2.3. Esquema de vías de transmisión acústica a ruido aéreo entre dos recintos.	23
Figura 2.4. Transmisión de ruido de impactos entre dos recintos superpuestos.	25
Figura 2.5. Transmisión de ruido de impactos entre recintos colindantes y con una arista horizontal común.	26
Figura 2.6. Ejemplo informe de aislamiento acústico a ruido aéreo.	28
Figura 3.1. Relaciones entre parámetros característicos de una onda de presión.	37
Figura 3.2. Comparativo de niveles de presión sonora.	38
Figura 3.3. Operaciones más comunes con niveles de presión en dB.	40
Figura 3.4. Bandas de octava y de 1/3 de octava.	43
Figura 3.5. Campo libre y campo reverberante.	47
Figura 3.6. Balance energético en un elemento constructivo.	47
Figura 3.7. Efecto de coincidencia.	55
Figura 3.8. Elementos separadores de doble.	57
Figura 4.1. Alternativas para medir el aislamiento acústico en función de la vía de transmisión sonora.	64
Figura 4.2. Consideraciones en el proceso de verificación.	65
Figura 4.3. Aislamiento acústico específico de un elemento constructivo.	69
Figura 4.4. Disposición de los elementos individuales en el laboratorio.	70
Figura 4.5. Elementos radiantes de energía en el recinto receptor.	76
Figura 4.6. Distintos caminos de transmisión por vía estructural.	77
Figura 4.7. Disposición y dimensiones de los recintos.	81
Figura 4.8. Elementos separadores.	88
Figura 5.1. Niveles del Perfil de Calidad en la Edificación.	106
Figura 5.2. Requisitos del Perfil de Calidad. Prestaciones de los Requisitos Graduados.	107
Figura 5.3. Esquema pared nivel básico.	125
Figura 5.4. Esquema pared nivel notable.	126
Figura 5.5. Esquema pared nivel excelente.	126
Figura 5.6. Estructura recinto nivel notable.	129
Figura 6.1. Plantilla datos medición según ISO 717.	156
Figura 6.2. Disposición del ensayo del método clásico.	159
Figura 6.3. Sonómetro integrador utilizado, Brüel & Kjaer 2238 Mediator.	159
Figura 6.4. Vista de la pantalla del sonómetro integrador utilizado.	160
Figura 6.5. Micrófono de condensador prepolarizado Brüel & Kjaer 4188.	161
Figura 6.6. Fuente de ruido Brüel & Kjaer 4224.	161
Figura 6.7. Cuadro de mando de la fuente, con la configuración utilizada en las mediciones.	161
Figura 6.8. Pantalla de inicio del software Dirac 3.0. Captura de pantalla del software Dirac 3.0 en funcionamiento.	162
Figura 6.9. Acondicionador de señal, mini portátil y micrófono de condensador.	162
Figura 6.10. Preamplificador, de la marca Endevco. Amplificador GA-610D.	162



Índice gráficos

Gráfico 2.1. Relación entre el aislamiento global, el aislamiento de la ventana y de la parte ciega, en función del % de huecos.	30
Gráfico 3.1. Parámetros fundamentales de una onda de presión.	36
Gráfico 3.2. Variaciones de frecuencia y amplitud.	37
Gráfico 3.3. Ejemplo de Medida del valor RMS por puntos discretos.	41
Gráfico 3.4. Espectros en banda de octava y 1/3 de octava.	44
Gráfico 3.5. Curvas de isosonoridad, respecto del tono puro de 1 kHz.	45
Gráfico 3.6. Curvas de ponderación frecuencial A, B y C.	46
Gráfico 3.7. Determinación del tiempo de reverberación.	49
Gráfico 3.8. Comportamiento del Índice de Reducción Sonora con la frecuencia.	52
Gráfico 3.9. Comportamiento de la ley de masa.	54
Gráfico 3.10. Frecuencias críticas atendiendo al tipo de material y al espesor.	56
Gráfico 3.11. Aislamiento de una pared doble en función de la frecuencia.	58
Gráfico 4.1. Índices ponderados A.	83
Gráfico 5.1. Gráfica en caso de exigencia básico.	128
Gráfico 5.2. Gráfica en caso de exigencia notable.	129
Gráfico 6.1. Valores de la curva de referencia para aislamiento a ruido aéreo, en bandas de tercio de octava.	149
Gráfico 6.2. Valores de la curva de referencia para aislamiento a ruido aéreo en bandas de octava.	150
Gráfico 6.3. Espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación espectral para mediciones en bandas de tercio de octava.	151
Gráfico 6.4. Espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación espectral para mediciones en bandas de octava.	152



Índice tablas

Tabla 2.1. Índices en la NBE-CA-88 y en el DB HR.	19
Tabla 2.2. Resumen de índices de aislamiento utilizados en el DB HR.	22
Tabla 2.3. Relación de índices de aislamiento acústico.	27
Tabla 3.1. Corrección según la ponderación A en bandas de 1/3 de octava.	46
Tabla 4.1. Tipos de recintos habitables.	66
Tabla 4.2. Expresiones de los factores de transmisión en función de R y Dn.	78
Tabla 4.3. Características de los elementos que definen el aislamiento de la pared separadora.	82
Tabla 4.4. Resultados tabulados del ejemplo.	85
Tabla 4.5. Niveles mínimos de aislamiento a ruido aéreo.	86
Tabla 4.6. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo según el DB HR protección frente al ruido.	87
Tabla 4.7. Valores límite de aislamiento a ruido de impactos según el DB HR protección frente al ruido.	89
Tabla 4.8. Valores límite de tiempo de reverberación según DB HR protección frente al ruido.	90
Tabla 5.1. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo según el DB HR protección frente al ruido.	110
Tabla 5.2. Valores límite de aislamiento a ruido de impactos según el DB HR protección frente al ruido.	111
Tabla 5.3. Valores límite de tiempo de reverberación según el DB HR protección frente al ruido.	112
Tabla 5.4. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo según el DB HR protección frente al ruido.	113
Tabla 5.5. Valores límite de aislamiento a ruido de impactos según el DB HR protección frente al ruido.	114
Tabla 5.6. Valores límite de tiempo de reverberación según el DB HR protección frente al ruido.	115
Tabla 5.7. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo según el DB HR protección frente al ruido.	116
Tabla 5.8. Valores límite de aislamiento a ruido de impactos según el DB HR protección frente al ruido.	117
Tabla 5.9. Valores límite de tiempo de reverberación según el DB HR protección frente al ruido.	118
Tabla 5.10. Para la verificación en fase de proyecto del aislamiento a ruido aéreo en el interior del edificio, según el DB HR.	119
Tabla 5.11. Para la verificación en fase de proyecto del aislamiento a ruido aéreo de la envolvente del edificio (fachada y medianera con otros edificios), según DB HR.	120
Tabla 5.12. Para la verificación en fase de proyecto del aislamiento a ruido de impactos, según DB HR.	122
Tabla 5.13. Para la verificación en fase de proyecto del tiempo de reverberación de recintos según DB HR (orientativo).	123
Tabla 5.14. Coeficientes a partir de valores medios.	131
Tabla 5.15. Coeficientes para el cálculo del nivel global.	132
Tabla 5.16. Ficha a rellenar en obra terminada.	135
Tabla 5.17. Ejemplo ficha verificación obra terminada.	136
Tabla 5.18. Porcentajes ejemplo obra terminada.	136
Tabla 5.19. Datos cálculo nivel global obra terminada.	137
Tabla 6.1. Magnitudes globales de las propiedades de aislamiento a ruido aéreo de elementos de construcción.	147
Tabla 6.2. Magnitudes globales del aislamiento a ruido aéreo en edificios.	148
Tabla 6.3. Valores de referencia para aislamiento a ruido aéreo.	149
Tabla 6.4. Espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación.	151
Tabla 6.5. Término espectral para diferentes tipos de fuentes sonoras.	154



Capítulo 1.

Introducción

Desde tiempos remotos, en los albores de las primeras civilizaciones, ha sido preocupación del hombre, lograr la mejora del entorno que le rodea. Así el hombre a lo largo de los tiempos ha ido desarrollando técnicas y tecnologías que le han permitido disfrutar de mayor productividad en el trabajo, mejoras en los transportes, mayores comodidades en el hogar y posibilidades casi ilimitadas en el área del ocio y entretenimiento. Todo este progreso no ha sido gratuito, sino que, ha implicado una serie de contrapartidas; entre ellas, las de índole medioambiental y dentro de las mismas, las que se refieren a la contaminación acústica.

En efecto, el hombre de la época actual está sometido a niveles de ruido cada vez más perjudiciales para su salud y bienestar. Es precisamente en los núcleos urbanos e industriales, donde se concentra la actividad humana, donde se alcanzan las mayores cotas de contaminación acústica, dado que el propio hombre es su principal causante. Afortunadamente, los avances logrados en el campo de la ingeniería acústica han permitido estudiar el comportamiento del sonido en los recintos y dotarnos de herramientas que nos permitan prevenir, controlar y corregir las posibles deficiencias en la edificación, en cuanto a las condiciones acústicas se refiere.

La acústica en la edificación comprende diversas áreas o campos de estudio, entre las que se encuentran: el acondicionamiento de recintos, la protección contra el ruido aéreo o la protección contra el ruido por impactos, entre otras. En el presente proyecto se tratará la protección contra ruido aéreo, principalmente.

En lo que respecta a la medida del aislamiento acústico existen en la actualidad técnicas de medida, fundamentadas teóricamente, que han podido llevarse a la práctica gracias a la llegada de una instrumentación tecnológicamente más avanzada. Dichas técnicas se encuentran soportadas por una normativa que especifica los procedimientos de medida y que las hace válidas para su aplicación en el cumplimiento de la legislación vigente en el campo de la edificación.

Dos son las técnicas de medida del aislamiento a ruido aéreo, estando recogidas las mismas, en sus correspondientes normas UNE-EN ISO 140 y UNE-EN ISO 717. En cada caso, la norma distingue entre medidas de laboratorio y medidas in situ, dando a cada situación su correspondiente apartado en la norma.





1.1 Procedimientos de medida aislamiento a ruido aéreo.

1.1. Objetivos.

Los objetivos al realizar este proyecto son diversos y a continuación se especifican:

1. Estudiar y analizar los aspectos de mayor relevancia relacionados con el cálculo y medida del aislamiento acústico en la edificación, sintetizando el Documento Básico HR Protección frente al ruido.
2. Exponer con detalle la normativa y metodología de medida específica del aislamiento acústico a ruido aéreo.
3. Elaboración de un procedimiento de medida en obra según lo establecido en las normas UNE 140 y UNE 717.
4. Conocer las soluciones estructurales acerca del aislamiento acústico según aporta la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, en el documento llamado Perfil de Calidad.
5. Elaboración de una plantilla para la verificación del aislamiento acústico a ruido aéreo y la medida en obra de distintas soluciones constructivas.



1.2. Metodología empleada.

Este proyecto ha sido desarrollado para el correcto entendimiento acerca del aislamiento acústico a ruido aéreo principalmente, e invita a su lectura y comprensión, por capítulos se va desarrollando tanto la norma, como los conceptos básicos, los procedimientos de medida, etc., siempre con un nexo de unión entre ellos y los temas se exponen en un orden lógico que ayude a la comprensión del mismo.

Además, siempre se acompañará de documento gráfico que ayude a la interiorización de lo desarrollado, con tablas, figuras y gráficos, y especialmente importante en temas de ingeniería, con ejemplos para un correcto entendimiento de lo teórico.

1.3. Estructura del proyecto.

Este proyecto se divide en 7 capítulos, que son:

Capítulo 1. Introducción.

Capítulo 2. Marco legal en el aislamiento acústico.

Capítulo 3. Fundamentos aislamiento.

Capítulo 4. Documento HR.

Capítulo 6. Procedimientos de medida.

Capítulo 7. Conclusiones.

Todos ellos estructurados con apartados y sub-apartados, debidamente resaltados, para una correcta exposición de los temas, así como las palabras clave en negrita para ayudar a su lectura y poder obtener las ideas esenciales de lo que se desarrolla en cada división de cada capítulo.



Capítulo 2.

Marco legal en el aislamiento acústico

En temas de ingeniería, relacionadas con el Código Técnico de la Edificación, y específicamente relacionadas con el aislamiento acústico, es de especial importancia conocer toda la norma por la se rige y que un ingeniero debe de conocer y asegurarse de tomar las decisiones necesarias para el correcto procedimiento de medida, cálculo, y parámetros a tener en cuenta al aislar un recinto.

Por ello, un ingeniero debe ayudarse de la legislación vigente, ya no sólo porque facilita su trabajo, sino por tener en consideración los límites y requisitos del reglamento, que a continuación se desarrolla.

2.1. Los requisitos esenciales de la LOE al CTE.

En el año 1999 se aprobó la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE) cuyo objeto básico era regular el proceso de la edificación, estableciendo las obligaciones y responsabilidades de los agentes que intervienen en el mismo, así como las garantías necesarias para su adecuado desarrollo, asegurando la calidad mediante el cumplimiento de los requisitos básicos de los edificios y la adecuada protección de los intereses de los usuarios.

La **LOE** establece los **requisitos básicos** que deben satisfacerse con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente, que se agrupan en tres familias:

- Los relativos a la **funcionalidad** (utilización, accesibilidad y acceso a los servicios de telecomunicación, audiovisuales y de información)
- Los relativos a la **seguridad** (estructural, en caso de incendio y de utilización)
- Los relativos a la **habitabilidad** (higiene, salud y protección del medio ambiente, protección contra el ruido, ahorro de energía y aislamiento térmico y otros aspectos funcionales).

Dentro de los requisitos de habitabilidad, se encuentra enmarcado el requisito básico de “Protección frente al ruido”, que consiste en limitar, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido



pueda producir a los usuarios como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

De la LOE se deriva el Código Técnico de la Edificación (CTE), donde se establecen las exigencias básicas que deben cumplir los edificios para satisfacer los requisitos básicos.

El CTE se estructura en dos partes:

- La **parte I**, que contiene las disposiciones, condiciones generales de aplicación del CTE y las **exigencias básicas** que deben cumplir los edificios: en el proyecto, la construcción, el mantenimiento y conservación de los edificios y sus instalaciones.
- La **segunda parte**, formada por los **Documentos Básicos**, que contienen, tanto la caracterización de las exigencias básicas y su cuantificación, como los procedimientos cuya utilización acredita el cumplimiento de las mismas, concretados en forma de métodos de verificación o soluciones sancionadas por la práctica.

El siguiente organigrama muestra el requisito básico de la LOE y las exigencias básicas de la parte I del CTE en relación a la protección frente al ruido.

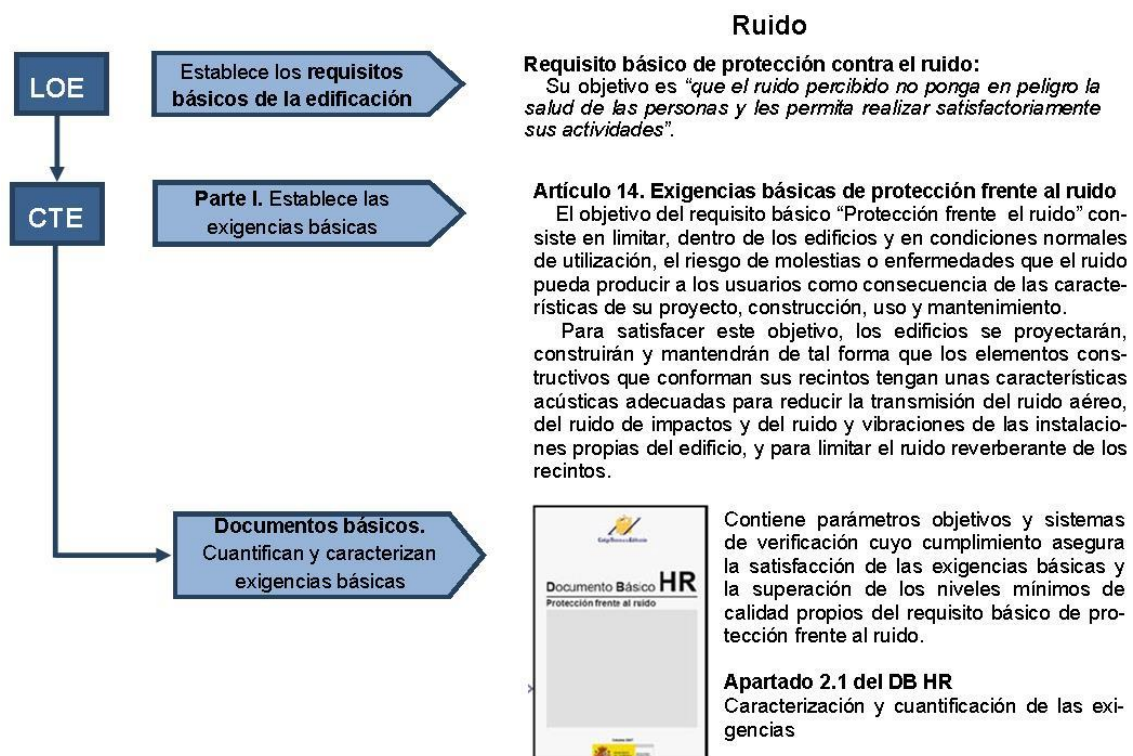


Figura 2.1. De la LOE al DB HR



2.2. Objetivos del Documento Básico DB HR.

Para dar una adecuada respuesta a la exigencia básica de protección frente al ruido, en la elaboración del DB HR, se han perseguido, entre otros, los siguientes **objetivos**:

- **Elevar los niveles de aislamiento acústico** reglamentarios en la edificación en respuesta a una demanda social generalizada, adecuándolos a la media europea.
- **Contemplar adecuadamente los mecanismos de transmisión acústica entre recintos**, incluida la transmisión de ruido por flancos, superando así las deficiencias de la NBE-CA en la predicción de la transmisión del ruido entre recintos.
- **Limitar el ruido reverberante** en aquellas estancias, como aulas y salas de conferencia, donde es necesario conseguir adecuados niveles de inteligibilidad, o comedores y restaurantes, donde debe limitarse convenientemente el ruido de fondo.

Hay que señalar que el cambio que supone el DB HR no solamente atañe a un aumento de las exigencias de aislamiento acústico, sino que además el **DB HR parte de un planteamiento más actualizado**, y acorde con el marco normativo europeo.

En el CTE el aislamiento acústico exigido es el aislamiento final en la edificación o aislamiento acústico in situ. Los **índices que expresan el aislamiento acústico exigido son magnitudes** que pueden obtenerse en el edificio terminado mediante un ensayo de aislamiento acústico y el valor de esta medición es directamente comparable con el de la exigencia. De la misma manera, esta circunstancia debe ser tenida en cuenta en el momento de realizar un proyecto y deben valorarse las transmisiones indirectas.

2.3. La Ley del ruido.

Dentro del marco reglamentario nacional, en relación con la protección contra el ruido en edificación y al margen de la LOE y el CTE, debe citarse necesariamente la Ley 37/2003 del Ruido. Dicha Ley es la transposición de la Directiva Europea sobre evaluación y gestión del ruido ambiental y tiene como objetivo básico la **prevención, vigilancia y reducción de la contaminación acústica ambiental** producida por emisores acústicos de cualquier índole.



Por **emisor acústico** se entiende cualquier actividad, infraestructura, maquinaria o comportamiento que genere ruidos o vibraciones en el ambiente, excluyéndose las actividades domésticas y el ruido producido por los vecinos. También se excluyen las actividades laborales y militares que se regirán por su legislación específica y el ruido producido en el interior de los medios de transporte.

La Ley del Ruido cuenta con dos **reglamentos complementarios** que son:

- **RD 1513/2005**, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión de ruido ambiental.
- **RD 1367/2007**, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

La Ley del Ruido establece las **competencias** de las diferentes **administraciones públicas** para la aprobación, elaboración y revisión de mapas de ruido de los grandes ejes viarios y ferroviarios, grandes aeropuertos y aglomeraciones urbanas (núcleos de población de más de 100.000 habitantes), además de emplazar a dichas administraciones a que elaboren y ejecuten planes de acción destinados a reducir la contaminación acústica.

El ámbito de la edificación se ve afectado por la Ley del Ruido y sus reglamentos en **dos vertientes**:

2.3.1. La edificación.

Los edificios son considerados por la Ley del Ruido como **receptores acústicos** y no como fuente emisora de ruido. En el interior de los edificios de usos: residencial (tanto público como privado), hospitalario, docente o cultural, deben cumplirse los objetivos de calidad acústica interiores que garanticen que los usuarios puedan desarrollar las actividades en su interior con normalidad.

Los índices de calidad acústica interior son en realidad valores máximos de inmisión de ruido y vibraciones que pueden ser producidos por las instalaciones del propio edificio, ruido ambiental proveniente del exterior y procedente de actividades que se desarrollan en el edificio o en recintos colindantes. Se refiere a **actividades que**



precisen de licencia de actividad (recintos de actividades), no a la actividad vecinal, que esta está excluida de la Ley del ruido.

2.3.2. La ordenación del territorio y al planeamiento urbanístico.

Según la ley del ruido, las administraciones públicas deben establecer una **zonificación del suelo en áreas acústicas**, que son sectores del territorio donde deben cumplirse unos objetivos de calidad acústica ambiental. Estas áreas se clasifican en función del uso predominante del suelo y tienen asignados unos valores máximos de inmisión de ruido ambiental.

2.4. El DB-HR y la Ley del ruido.

La redacción del DB-HR se ha coordinado con la redacción de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido y con sus desarrollos, en lo referente a la protección de los usuarios con respecto al **ruido procedente del exterior y de las instalaciones**.

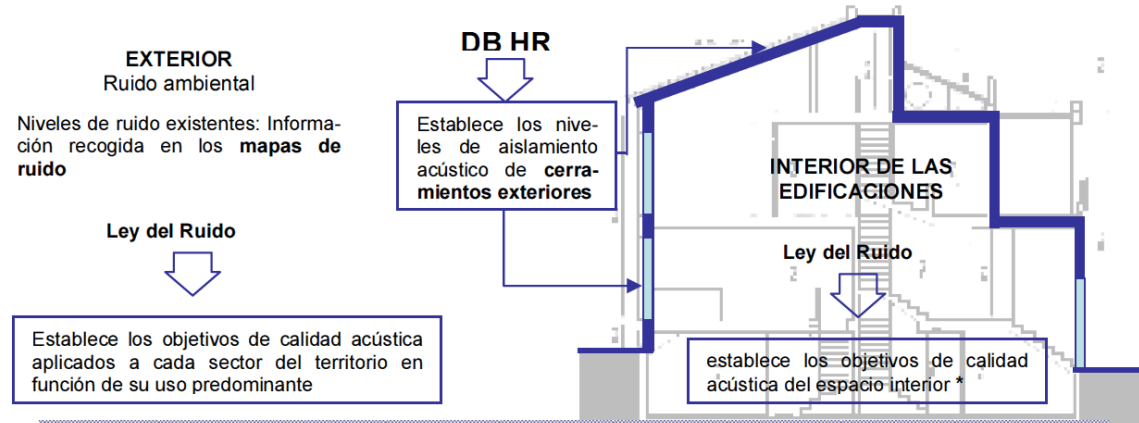
Respecto a la protección de los usuarios frente al ruido exterior, el DB-HR establece en la tabla los **niveles de aislamiento acústico** exigidos a los cerramientos que limitan con el exterior, es decir, a las fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior.

Para fijar dichos niveles, se ha considerado que el aislamiento acústico que debe proporcionar una fachada o cubierta es la diferencia entre el nivel de inmisión exterior existente o previsto en la zona donde se ubica el edificio y el nivel de inmisión interior requerido para que en los recintos interiores los usuarios puedan realizar sus actividades con comodidad. En este sentido se han tenido en cuenta estos **tres aspectos**:

1. Los objetivos de **calidad acústica ambiental** de las diferentes áreas acústicas, que son los valores límite de los índices de ruido ambiental para determinados sectores del territorio que no deben ser sobrepasados y que están fijados por La Ley del Ruido, establecidos en el RD1367/2007.
2. La existencia de **mapas de ruido** y que están a disposición del público, lo que significa que los niveles de ruido de determinadas zonas son conocidos.



3. Los objetivos de **calidad acústica interior**, que son los valores límite de inmisión que no deben superarse en el interior de los edificios, establecidos en el RD 1367/2007.



* Valores máximos de inmisión de ruido y vibraciones que pueden ser producidos por las instalaciones del propio edificio, ruido ambiental proveniente del exterior y procedente de actividades que se desarrollan en el edificio o en recintos colindantes

Figura 2.2. Relación entre la Ley del Ruido y el DB HR Protección frente al ruido.

El DB-HR **fija los niveles de aislamiento acústico de los cerramientos exteriores del edificio**: fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior. El tratamiento de las medianerías es diferente.

El DB-HR **no fija niveles de inmisión en el espacio interior de los edificios**. Los valores de la tabla del DB-HR son el resultado de la diferencia de los niveles de inmisión exteriores y los objetivos de calidad acústica interior para distintos tipos de edificios: residencial, hospitalario, docente, administrativo y cultural. Por ello en la verificación in situ, en caso de realizarse, debe comprobarse exclusivamente el nivel real de aislamiento de la solución constructiva adoptada (y su correspondencia con lo prescrito en el DB-HR) y no el nivel de inmisión interior que depende lógicamente del nivel de inmisión exterior que haya en el momento de realizar la medida, y que puede no corresponderse con los valores de L_d que de acuerdo con el reglamento, se han adoptado para dimensionar la solución. En cualquier caso la medición debe realizarse conforme a lo establecido en las norma UNE EN 140-5, según se indica en el DB-HR.

Aparte de la inmisión por ruido ambiental del exterior, los **objetivos de calidad acústica interiores** se refieren además a la inmisión por el ruido de las instalaciones del edificio. Por eso en el DB-HR se tratan las instalaciones desde dos aspectos:



1. Desde el punto de vista del **diseño de las instalaciones**, exigiendo que se limite la potencia acústica de los equipos de las instalaciones, para que no se sobrepasen los objetivos de calidad acústica interiores.
2. Desde un punto de vista **puramente constructivo**, dando una serie de condiciones constructivas que limitan la transmisión de ruido y vibraciones a través de las sujeciones o puntos de contacto entre las instalaciones y los elementos constructivos.

2.5. La Norma UNE-EN ISO 140-4.

La técnica según la norma ISO 140 en su apartado 4, destinada a la **medición “in situ” del aislamiento al ruido aéreo entre locales**, a grosso modo, consiste en la medida de los niveles continuos equivalentes de presión sonora “ L_{eq} ” en la salas emisora y receptora, además de la obtención del tiempo de reverberación “ T_r ” de la sala receptora. Siendo la sala emisora, la sala donde se encuentra la fuente generadora de sonido y la sala receptora, la sala contigua a la emisora y que comparte con la misma, el elemento separador, al que se quiere determinar el aislamiento acústico.

El **procedimiento de medida es sencillo y en un tiempo muy corto** de unos minutos se pueden realizar la medida de forma satisfactoria, ya que, el único requisito que exige la norma es que el nivel “ L_{eq} ” en la sala receptora exceda en 6 dB, (o preferiblemente en 10 dB) el nivel del ruido de fondo. Requisito que es fácilmente alcanzable.

Una de las **limitaciones** de esta norma se encuentra en la llamada **transmisión por flancos**. Los valores obtenidos de aislamiento acústico según este método contienen la contribución de la transmisión sonora por flancos, es decir, la parte de sonido que llega de la sala emisora a la sala receptora por caminos alternativos distintos del camino directo a través del elemento separador común. Por este motivo el valor de aislamiento obtenido, en cierta medida, depende del resto de elementos que conforman las salas. La norma contempla esta posibilidad y aporta algunas soluciones, aunque, no son del todo satisfactorias.

Otra limitación de la técnica de medida viene cuando se tiene una **medianera constituida por distintos elementos o materiales**. Los valores de aislamiento acústico obtenidos por esta técnica, reflejan el comportamiento global de la medianera, pero es del todo imposible determinar el aislamiento parcial de cada componente o que contribución tiene cada elemento al aislamiento de forma separada.



A pesar de sus limitaciones esta técnica por su sencillez de aplicación en prácticamente **cualquier situación de medida “in situ”** aportando valores de aislamiento de los elementos de separación bajo las condiciones reales dentro de la edificación sigue siendo la norma de referencia en la legislación vigente en materia de edificación. Esta norma será ampliada en el capítulo 6 donde se desarrollará el procedimiento de medida.

2.6. La Norma UNE-EN ISO 717-1.

Norma modificada y presentada en enero de 2007 de la primera de 1997. Desarrolla en su primer apartado otro método de medida del aislamiento de ruido aéreo, ampliado y desarrollado en el capítulo 6.

La principal modificación en este documento de su inicial se corresponde con las normas de redondeo asociadas con los **índices expresados por un único número** y con las magnitudes expresadas por un único número. A través de unos cálculos y unas condiciones y límites a cumplir en esos cálculos, se consigue obtener un único número que expresará aquel aislamiento acústico de dicho recinto.

2.7. La legislación en la edificación.

Es interesante desarrollar una reseña histórica respecto a la Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Acústicas (NBE-CA 88) es la norma anterior al Código Técnico de la Edificación (CTE) junto con su Documento de Aplicación del Código (DAC) correspondiente a la protección contra el ruido (HR).

La **Norma Básica de la Edificación** trató de poner unos límites en el diseño de la edificación que garantizaran la protección contra el ruido de las personas. Para ello la NBE-CA estableció unas condiciones exigibles mínimas de aislamiento acústico para cada tipo de partición dependiendo del uso o propiedad de las estancias que separa. Así, por ejemplo, a un elemento separador entre locales pertenecientes a la misma propiedad o usuario en edificios de uso residencial tendría un requisito mínimo de aislamiento de 35 dBA.

La norma **aportó una serie de soluciones constructivas básicas que a priori cumplían dichas exigencias**, de tal forma que el arquitecto podía acudir a ellas para garantizar, de ese modo, el cumplimiento de la legislación. El **único requisito** que se exigía es la cumplimentación de la **ficha justificativa**, donde el arquitecto especificaba



el tipo de solución constructiva escogido para cada elemento separador genérico, junto con el valor de aislamiento en dB(A) que proporcionaban los propios anexos de la norma. De este modo un simple vistazo a la ficha permite conocer si se satisfacen los mínimos exigidos por la norma. No se exigía ningún requisito extra más allá de la comprobación y recepción de los materiales a pie de obra, y la justificación en el proyecto final de ejecución de cualquier modificación realizada sobre el proyecto inicial, sin que en ningún caso dejaran de cumplirse las exigencias mínimas señaladas en la norma.

La norma incluía en sus anexos, unas **tablas con los valores L_{eq} (A) de inmisión máximos** que se recomendaban no sobrepasar en cada tipo de local, así como, los tiempos de reverberación (T_r) recomendados. Con esto el usuario final tenía a su alcance una herramienta con la que poder actuar en casos de abuso, o realización de reformas.

Por otro lado, el **Código Técnico de la Edificación** (CTE) con su correspondiente Documento de Aplicación del Código (DAC) de protección contra el ruido aéreo (HR1), va en la dirección de **incrementar los requisitos mínimos exigibles** de aislamiento para los elementos separadores con respecto a la NBE-88, y no tanto en la dirección de la realización de comprobaciones a pie de obra del aislamiento real conseguido, como se pensó en un principio que debía ser. Sin duda las presiones de arquitectos y constructores han pesado en este sentido en la redacción del CTE.

A pesar de la no obligatoriedad de la realización de medidas “in situ”, la norma contempla la posibilidad de la comprobación a cuenta del propietario y **establece unas desviaciones mínimas** respecto de los valores de aislamiento que no deben sobrepasarse.

Con respecto a la verificación de las soluciones adoptadas, frente a la ficha justificativa de la NBE, el CTE da la opción de realizar una justificación basada en un método predictivo, que se incluye en los anejos de la norma, o la adopción de las soluciones constructivas aceptadas que se incluyen también en los anejos.



2.8. Diferencias entre la NBE CA 88 y el DB-HR del CTE.

Todo esto que acabamos de ver acerca de las vías de propagación del sonido entre recintos pone de manifiesto cómo **todos los elementos constructivos que conforman un recinto** (y no sólo el elemento de separación como se ha considerado hasta ahora), **están interrelacionados e influyen** de forma conjunta en el valor de **aislamiento** final que se consiga.

La existencia de estas vías de transmisión indirectas además de la vía directa hace que el aislamiento acústico final en obra de un elemento, difiera del comportamiento en laboratorio. El nuevo enfoque del **CTE se ajusta a un mejor comportamiento acústico de los elementos ya construidos** ya que considera la existencia de todas estas vías de transmisión.

Para un mismo elemento constructivo, el aislamiento obtenido in situ, siempre es menor que el aislamiento teórico o de laboratorio.

Respecto a la NBE CA-88, el DB-HR supone un aumento de las exigencias de aislamiento, lo que se traduce en un aumento del confort acústico de la edificación.

Otra de las diferencias, es que los **índices que definen el aislamiento en el DB-HR y en la NBE CA-88 son distintos**. El aislamiento de la norma básica se corresponde con el valor obtenido en laboratorio de los elementos constructivos; para ruido aéreo se trata del índice de reducción acústica ponderado A (R_A) y para ruido de impactos del nivel de presión de ruido de impactos de laboratorio (L_n).

Sin embargo, en el CTE, **el aislamiento acústico a ruido aéreo viene definido como la diferencia de niveles estandarizada ponderada A, $D_{nT,A}$** , que es un índice que evalúa el aislamiento a ruido aéreo entre recintos y no únicamente el aislamiento de elementos constructivos. Lo mismo sucede con el aislamiento a ruido de impactos, que está definido como el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado ($L'_{nT,w}$), que también evalúa el nivel de presión de ruido de impactos entre recintos y no únicamente el del forjado.



Índices de aislamiento	NBE-CA-88	DB HR – Protección frente al ruido
Ruido aéreo	R_A	$D_{nT,A}$
Ruido de impactos	L_n	$L'_{nT,w}$
Ruido procedente del exterior	a_g	$D_{2m,nT,Atr} / D_{2m,nT,A}$
	Valores de laboratorio	Valores obtenidos in situ

Tabla 2.1. Índices en la NBE-CA-88 y en el DB HR.

Además de las transmisiones por vía indirecta, existen **otros motivos** por los cuales el **aislamiento** acústico proporcionado por un elemento constructivo en una situación de campo es **menor que el proporcionado por el mismo en laboratorio**, como son:

- **Defectos en la ejecución** (falta de sellado, rozas no macizadas, etc.).
- **Presencia de instalaciones** que pueden actuar como puentes acústicos, transmitiendo el sonido entre las hojas que componen los elementos de separación.

Las nuevas exigencias de aislamiento del DB-HR suponen que es necesario el cálculo de las transmisiones indirectas, y tener en cuenta que la solución constructiva no depende únicamente del elemento de separación, por ejemplo: una pared, sino de todos los elementos que están en contacto con ella, como son tabiques, fachada y forjados. Además se deberán poner en práctica, unas condiciones de ejecución en obra que eliminen los puentes acústicos que puedan disminuir el aislamiento final de la solución.

Otra de las aportaciones del CTE es la posibilidad medir el aislamiento in situ y obtener un valor comparable al de la exigencia. Esto no sucedía en la norma básica, en la que los índices son obtenidos en laboratorio. Por eso, en el caso de una medición in situ, el valor obtenido no es comparable con el valor de las exigencias de la NBE CA-88.

El tratamiento de la envolvente del edificio, fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exteriores otra novedad en el CTE. **El aislamiento a ruido aéreo de estos elementos se define en función del nivel de ruido exterior de la zona donde se ubica el edificio y según el uso del recinto**, y se expresa también mediante una magnitud de aislamiento in situ.



2.9. Otros documentos oficiales. El Catálogo de Elementos Constructivos (CEC).

Es un **Documento Oficial** de ayuda al proyectista que facilita el cumplimiento de las exigencias generales de diseño de los requisitos de habitabilidad: salubridad, Protección frente al ruido y Ahorro de Energía, establecidas en el CTE.

Es un compendio de diferentes materiales, productos y elementos constructivos caracterizados por sus prestaciones higrotérmicas y acústicas.

El CEC es accesible en www.codigotecnico.org

Lo que aporta el catálogo son las **prestaciones higrotérmicas y acústicas de elementos y sistemas constructivos**, lo que permite, conjuntamente con el CTE, definir soluciones constructivas concretas que cumplan con las exigencias básicas específicas de cada caso. El catálogo no es un conjunto de “soluciones” constructivas, sino de “elementos” constructivos. Los sistemas incluidos en el catálogo no son válidos para cualquier situación, y en el mismo no se da información de en qué situaciones pueden utilizarse. Por ejemplo: la fachada de un edificio, ubicado en un situación concreta, tendrá que tener de acuerdo con el DB-HR un nivel de aislamiento acústico determinado y el CEC nos permitirá conocer que elementos constructivos poseen un nivel de aislamiento acústico superior y en consecuencia pueden ser válidos para dicha situación.

2.10. Conceptos del reglamento.

En este apartado se exponen, una serie de conceptos acústicos básicos, que se consideran necesarios para una adecuada comprensión del DB-HR.

Lo primero sería diferenciar los **conceptos básicos en el ámbito de la acústica arquitectónica o acústica de la edificación**, como son el aislamiento acústico y el acondicionamiento acústico. Los objetivos de uno y otro, aunque relacionados entre sí, son distintos pero deben emplearse conjuntamente para unir y complementar su potencial.

Se entiende por **aislamiento acústico** al conjunto de procedimientos empleados para reducir o evitar la transmisión de ruidos (tanto aéreos como estructurales) de un recinto a otro o desde el exterior hacia el interior de un recinto o viceversa, con el fin de obtener una calidad acústica determinada. Cuando se habla de aislamiento siempre se



tiene en consideración a dos recintos diferentes, es decir, se considera el sonido que se genera en un recinto, que se transmite y es percibido en otro recinto.

A diferencia del aislamiento acústico, el **acondicionamiento acústico** implica a un único recinto, es decir, el sonido es generado y percibido en el mismo recinto. Por acondicionamiento acústico se entiende una serie de medidas que se toman para conseguir en un recinto unas condiciones acústicas y un ambiente sonoro interior, determinados conforme al uso que se le va a dar al recinto.

2.10.1. Aislamiento acústico.

Diferencia entre aislamiento acústico in situ y en laboratorio

El aislamiento acústico exigido en el DB-HR es el **aislamiento final en la edificación o aislamiento acústico in situ** . Los índices que expresan dicho aislamiento acústico son magnitudes que pueden obtenerse en el edificio terminado mediante un ensayo de aislamiento acústico normalizado y el valor de esta medición es directamente comparable con el de la exigencia.

Las Normas que hay que tener en cuenta son:

- Norma UNE EN 140-4, para medición in situ de aislamiento acústico entre locales.
- Norma UNE EN 140-5, para la medición in situ de aislamiento acústico de elementos de fachada y de fachadas.
- Norma UNE EN 140-7, para la medición in situ de aislamiento acústico a ruido de impactos.

El **aislamiento acústico a ruido aéreo** está definido en el DB-HR como la diferencia de niveles estandarizada ponderada A ($D_{nT,A}$) que es un índice que evalúa el aislamiento a ruido aéreo entre recintos y no únicamente el aislamiento de los elementos constructivos que se interponen entre ellos. Lo mismo sucede con el aislamiento a ruido de impactos, que está definido como el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado ($L'_{nT,w}$) que también evalúa el nivel de presión de ruido de impactos entre recintos y no únicamente el del forjado.

El aislamiento exigido en la norma básica NBE CA-88 correspondía con el valor obtenido en laboratorio de los elementos constructivos; para ruido aéreo se trataba del



índice de reducción acústica ponderado A (R_A) y para ruido de impactos del nivel de presión de ruido de impactos de laboratorio L_n .

	Índices de aislamiento acústico	
	En el edificio	De elementos constructivos
Ruido aéreo entre recintos	$D_{nT,A}$ (dBA)	R_A (dBA)
Ruido de impactos	$L'_{nT,w}$ (dB)	$L_{n,w}$ (dB)
Ruido aéreo entre un recinto y el exterior	$D_{2m,nT,A,tr}$ (dBA)	$R_{A,tr}$ (dBA)
	Expresan aislamiento exigido en el DB HR	Utilizados en las opciones de aislamiento del DB HR
	Se pueden ensayar in situ	No se pueden ensayar in situ, se obtienen en laboratorio

Tabla 2.2. Resumen de índices de aislamiento utilizados en el DB HR.

Para cualquier elemento constructivo, su aislamiento acústico final en obra (al que hace referencia el DB-HR), difiere del valor obtenido en laboratorio (al que hacía referencia la NBE CA-88). Esto se debe a que en obra, la transmisión de ruido entre dos recintos (o desde el exterior) se produce por dos vías. De forma muy simplificada puede decirse que la transmisión se produce:

1. Por **vía directa** a través del elemento constructivo de separación. Esta transmisión depende básicamente del tipo de elemento constructivo y es lo que realmente se mide en laboratorio, ya que allí las transmisiones indirectas son despreciables.
2. Por **vía indirecta** o de flancos debido a las vibraciones de los elementos de flanco conectados al elemento de separación principal.



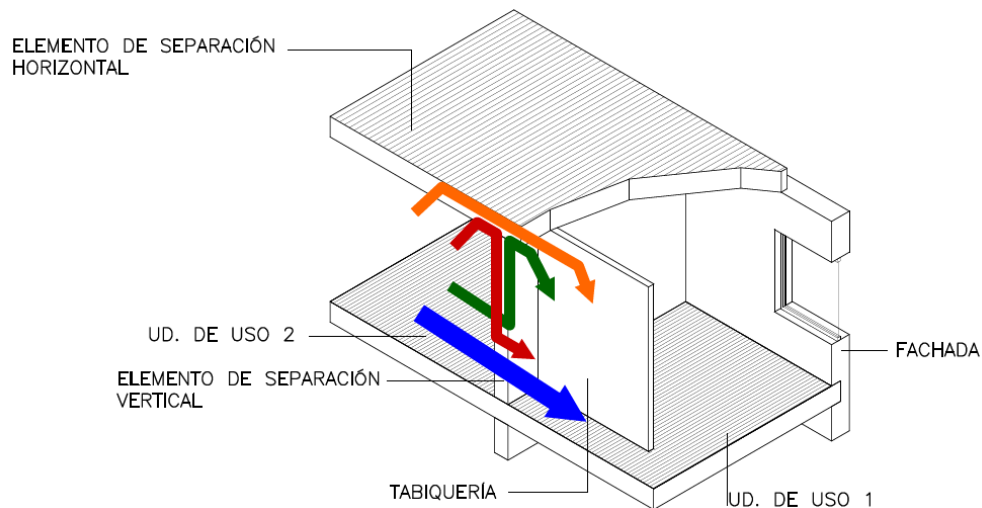


Figura 2.3. Esquema de vías de transmisión acústica a ruido aéreo entre dos recintos.

En **azul** se indica la transmisión directa, a través del elemento de separación vertical. En otros colores se han indicado las transmisiones indirectas o de flancos:

- En **naranja** la transmisión de flanco a flanco, en este caso a través del forjado.
- En **rojo**, la transmisión flanco-directo, desde el forjado al elemento de separación vertical.
- En **verde** la transmisión directa-flanco, desde el elemento de separación vertical al forjado.

Para un mismo elemento constructivo, **el aislamiento obtenido in situ, siempre es menor que el aislamiento teórico o de laboratorio.**

Para conseguir un determinado valor de **aislamiento acústico entre recintos** ($D_{nT,A}$, $L'_{nT,w}$, $D_{2m,nT,Atr}$) no es suficiente que los elementos de separación entre los mismos tengan un valor de aislamiento acústico en **laboratorio** (R_A , L_n o $R_{A,tr}$) igual a dicho valor, sino que tiene que ser **necesariamente superior. La diferencia, derivada de la transmisión por flancos**, viene condicionada por las características constructivas y geométricas de los elementos de separación, el tipo de conexión entre los mismos y las características geométricas del recinto. Dicha diferencia puede variar sensiblemente en función de los tipos constructivos, pero de modo orientativo, puede decirse que en edificación convencional es generalmente superior a 5 dBA.

Por ello, la falta de correlación entre los valores de aislamiento acústico medidos in situ y los valores de aislamiento previstos en la norma básica NBE CA-88, está justificada, dado que se están comparando valores que no representan lo mismo.



La NBE CA-88 establecía el aislamiento acústico en términos R_A y L_n . Frecuentemente se han comparado los valores de aislamiento acústico obtenidos en el edificio con los valores exigidos en la antigua NBE CA-88. La identificación de dichos valores es un error, pues **los índices R_A o L_n no se obtienen de mediciones in situ, sino de mediciones en laboratorio** y por lo tanto no son comprables con una medida.

También debe destacarse, que **el aislamiento acústico entre recintos depende del conjunto**, y no sólo del elemento de separación entre ambos, por lo que en algunas ocasiones, cuando existan flancos de menor aislamiento, la mejora del elemento de separación puede no suponer una mejora sensible del aislamiento, si no se elimina o mejora la vía de transmisión indirecta que está penalizando el aislamiento acústico.

Además de las transmisiones por vía indirecta, existen otros motivos por los cuales el **aislamiento acústico proporcionado por un elemento constructivo** en el edificio terminado puede ser **menor que el proporcionado por el mismo en laboratorio**, como son:

1. **Defectos en la ejecución:** como por ejemplo la presencia de rozas sin retacar en los elementos de fábrica, la falta de estanqueidad en la puesta en obra de las carpinterías, discontinuidades del material aislante a ruido de impactos, etc.
2. **La existencia de puentes acústicos:** como por ejemplo, los debidos a encuentros mal diseñados o ejecutados incorrectamente, o a conductos de instalaciones que no se han tratado convenientemente.

Para prevenir que el aislamiento acústico pueda verse influido por alguna de las dos causas mencionadas en el párrafo anterior, es fundamental un buen diseño de los encuentros constructivos desde el proyecto de ejecución y una buena ejecución.

2.10.2. Transmisiones a ruido de impactos.

El ruido de impactos en la edificación se produce por una **excitación mecánica** como una pisada, un golpeo la caída de un objeto producida sobre el forjado. Los **impactos originan unas vibraciones** que se propagan por el forjado a aquellos elementos constructivos conectados a éste, como pilares y tabiques, que son excitados y a su vez, se convierten en fuentes generadoras de ruidos aéreos, percibidos por los usuarios.



Para el ruido de impactos, las **transmisiones indirectas** se producen por estas vibraciones que desde el forjado, pasan a los elementos constructivos a los que están unidos. En la figura 2.4, se ha marcado la transmisión a ruido de impactos que existe entre dos recintos superpuestos (recinto 1 - recinto 2), que es la compuesta por la transmisión directa (D) y las transmisiones indirectas *f*. marcadas en rojo.

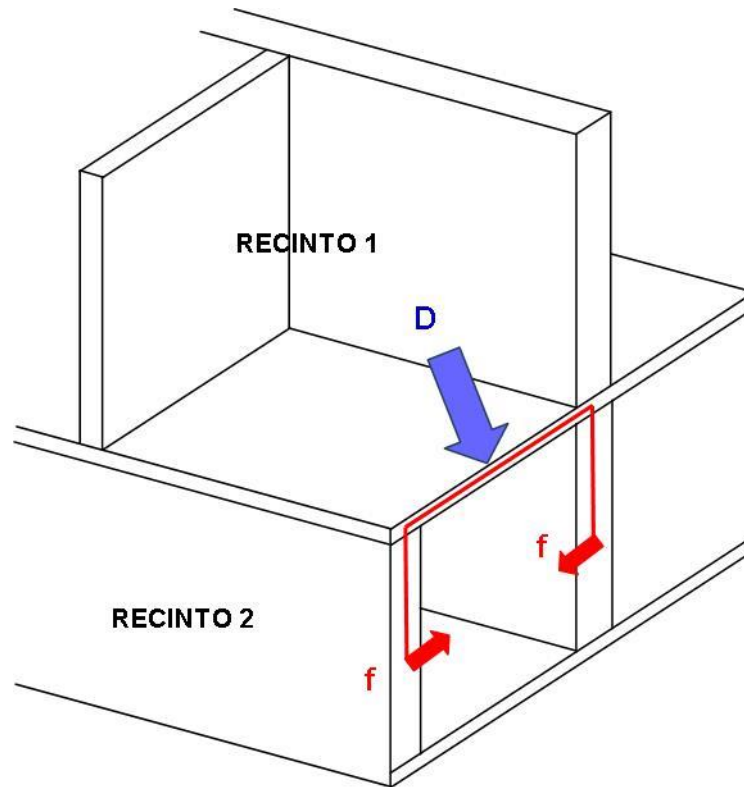


Figura 2.4. Transmisión de ruido de impactos entre dos recintos superpuestos.

Como puede verse en la figura 2.5, la transmisión a ruido de impactos no sólo se produce entre recintos superpuestos, sino que además se produce entre recintos colindantes (recintos 1 y 2) y recintos con una arista horizontal común (recintos 1 y 3). Se ha marcado la transmisión directa con una letra D, que afectaría sólo al recinto inferior al 1, y las transmisiones indirectas, marcadas con la letra *f*.

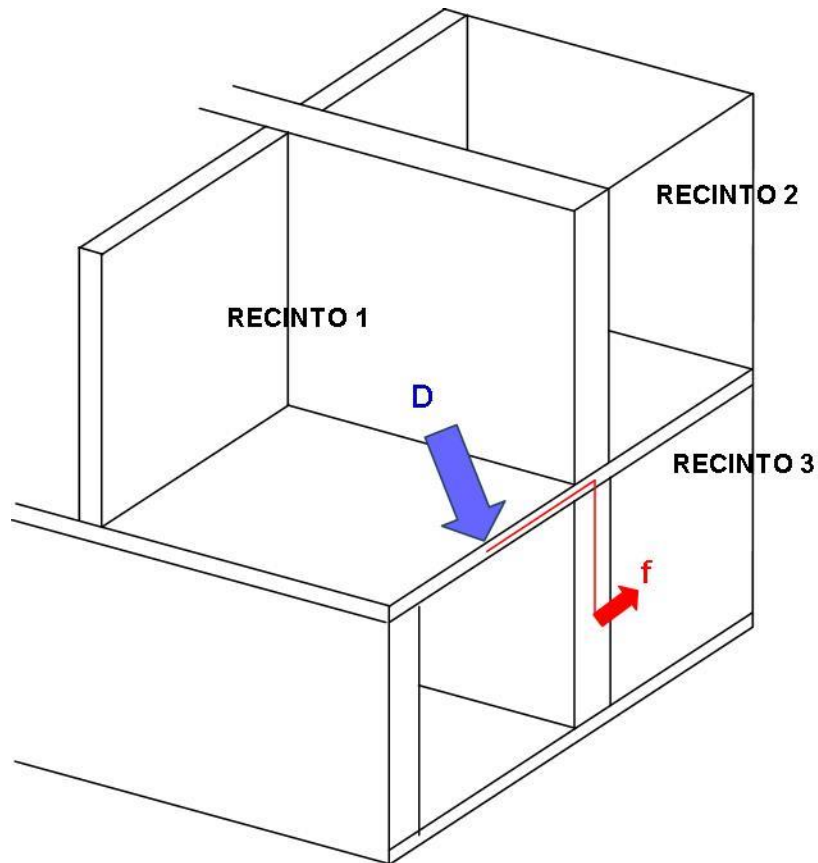


Figura 2.5. Transmisión de ruido de impactos entre recintos colindantes y con una arista horizontal común.

Todos los **índices de nivel de presión de ruido de impactos**, ya sean obtenidos in situ, como en laboratorio, expresan la transmisión de ruido de impactos entre recintos, es decir, la diferencia entre el nivel de presión sonora provocado por la máquina de impactos y el nivel de presión sonora recibido en el recinto receptor, de tal forma, que cuanto menor es el valor de $L'_{nT,w}$ exigido, mayor es el aislamiento acústico a ruido de impactos requerido. Por ejemplo: un nivel de presión de ruido de impactos $L'_{nT,w}$ de 80 dB, significa menos aislamiento acústico a ruido de impactos y por lo tanto, menor confort acústico que un nivel $L'_{nT,w}$ de 65 dB.

2.10.3. Las magnitudes de aislamiento acústico. Relaciones entre índices.

La respuesta de los elementos constructivos frente al sonido varía en función de la frecuencia, es decir, en una medida de aislamiento acústico, se obtienen diferentes valores de aislamiento para cada una de las frecuencias de tercio de octava.



Desde el punto de vista del DB-HR, sólo se utilizan valores globales de aislamiento, es decir, un valor ponderado que resume la información obtenida en un ensayo, tanto si es un ensayo in situ, como si se realiza en laboratorio.

Para **aislamiento a ruido aéreo entre recintos** se utiliza la ponderación A, que tiene en cuenta la sensibilidad del oído humano, dando mayor relevancia a las altas y medias frecuencias, que a las bajas frecuencias. Esta ponderación se utiliza tanto para los índices que expresan el aislamiento in situ, como los que lo expresan en laboratorio.

Para aislamiento a ruido aéreo de fachadas o de recintos frente al ruido exterior, se utilizan las curvas de referencia de ruido de tráfico, ya que en la mayoría de los casos va a ser el ruido dominante en el exterior.

En los ensayos a ruido aéreo generalmente se va a encontrar la información expresada mediante tres valores, que no son otros que **índices ponderados** con la UNE EN ISO 717-1 y sus correspondientes términos de adaptación espectral:

- R_w (C, C_{tr}), para elementos constructivos ensayados en laboratorio.
- $D_{nT,w}$ (C, C_{tr}), para ensayos in situ a ruido aéreo.
- $D_{2m,nT,Atr}$ (C, C_{tr}), para ensayos in situ de fachadas.

Generalmente, estos ensayos van a contener además información de los índices R_A , y R_{Atr} , pero si no fuera así, se podrían utilizar las aproximaciones de la esta tabla:

	Índices de aislamiento acústico	
	En el edificio	De elementos constructivos
Ruido aéreo entre recintos	$D_{nT,A} = D_{nT,w} + C$	$R_A = R_w + C$
Ruido aéreo de fachadas	$D_{2m,nT,A,tr} = D_{2m,nT,w} + C_{tr}$	$R_{A,tr} = R_w + C_{tr}$

Tabla 2.3. Relación de índices de aislamiento acústico



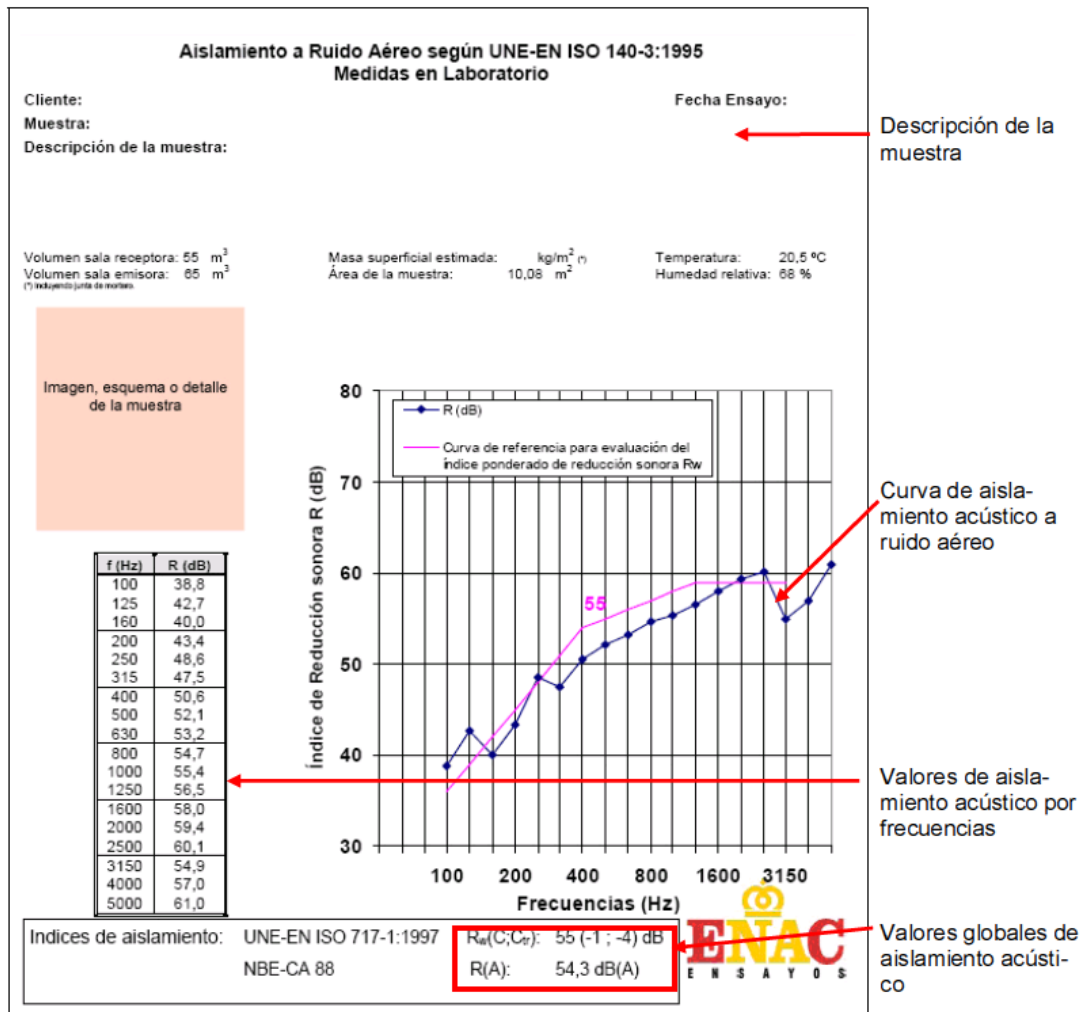


Figura 2.6. Ejemplo informe de aislamiento acústico a ruido aéreo.

El término C puede oscilar por lo general entre 0 y -2, pero el término C_{tr} para ruido de tráfico es muy variable. Por ejemplo, el aislamiento acústico de una solución de fachada expresado como R_A puede ser incluso siete u ocho decibelios mayor que el aislamiento expresado como $R_{A,tr}$.

Para ruido de impactos, se utiliza el nivel global de presión de ruido de impactos identificado mediante el subíndice w, que el valor ponderado mediante los procedimientos de la norma UNE EN ISO 717-2. ($L'_{nT,w}$ para el aislamiento in situ, $L_{n,w}$ para aislamiento en laboratorio)

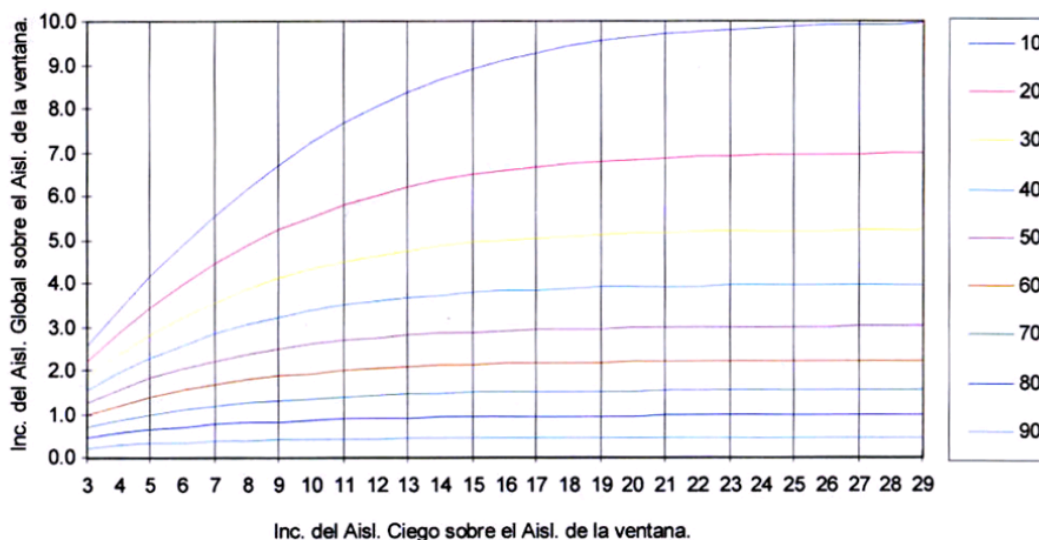
2.10.4. Aislamiento acústico en elementos constructivos mixtos. Fachadas.

Se denominan **elementos constructivos mixtos** a aquellos que están formados por partes diferentes, cada una con valores de aislamiento acústico diferentes, como por ejemplo, las fachadas, un tabique con una puerta, una cubierta con un lucernario, etc. De entre todos los elementos que pueden considerarse mixtos, el más representativo es la fachada, ya que las ventanas suelen ser los elementos de menor aislamiento acústico o más débiles y suelen limitar el aislamiento acústico frente al ruido exterior del conjunto.

En estos casos, el **aislamiento acústico máximo** del conjunto (ventana + parte ciega) que puede obtenerse es aproximadamente 10 dB superior al aislamiento del elemento más débil (normalmente la ventana o la caja de persiana). Por ello, para mejorar el aislamiento acústico de fachadas, el esfuerzo hay que centrarlo en mejorar el aislamiento acústico de la ventana, empleando ventanas de mejor calidad.

El gráfico 2.1 ilustra esta influencia del elemento de menos aislamiento en el aislamiento global. Expresa en abscisas el incremento del aislamiento de la parte ciega sobre la ventana, y en ordenadas el incremento del aislamiento global sobre el aislamiento de la ventana. Se puede apreciar cómo para porcentajes de huecos habituales en edificación residencial del 30 – 40 %, el aislamiento final que se puede obtener será como máximo entre 4 y 5 dB mayor que el valor de aislamiento de la ventana. Con porcentajes de huecos superiores, del 60 o 70% que son relativamente frecuentes en estancias muy acristaladas, el aislamiento acústico del conjunto es prácticamente el aislamiento acústico de la ventana.





% de huecos en fachada	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90
Máx mejora del aislamiento de la fachada (dBA)	10	8.2	7	6	5.2	4.5	4	3	2.2	1.5	0.9	0.5

Gráfico 2.1. Relación entre el aislamiento global, el aislamiento de la ventana y de la parte ciega, en función del % de huecos.

Un elemento que merece una especial reflexión es la **caja de persiana**. Su principal problema es la falta de estanquidad; ya que a través de los capitalizados instalados en la hoja interior de la fachada penetra el aire y el ruido. Los valores del índice global de reducción acústica para ruido de automóviles, $R_{A,tr}$, difícilmente superan los 30 dBA. Esto limita el aislamiento global de la fachada, de tal forma que para aquellas situaciones más contaminadas acústicamente, es recomendable utilizar alternativas a las cajas de persiana instaladas por el interior de la fachada, tales como capitalizados instalados por el exterior u otros sistemas de protección del soleamiento que no comprometan el aislamiento acústico, parasoles, venecianas exteriores, etc.

2.10.5. Acondicionamiento acústico.

La expresión acondicionamiento acústico suele estar asociada a recintos como auditorios o teatros, que tienen una acústica excepcional. Sin embargo, con cierta frecuencia existen recintos de uso cotidiano donde las condiciones acústicas no son las adecuadas. Así por ejemplo, las aulas son a menudo lugares donde es casi imposible seguir una clase o existen restaurantes y comedores demasiado ruidosos donde es difícil entablar una conversación. Esto se debe a que estos establecimientos suelen tener todas sus **superficies reflectantes acústicamente** y al ser de un tamaño



considerable y contar con **muy poca absorción**, el sonido permanece más tiempo en el ambiente, incrementándose paulatinamente los niveles de ruido de fondo.

Es a este tipo de recintos, como aulas o salas de conferencias de pequeño tamaño, comedores, restaurantes, etc., a los que normalmente se les da poca importancia, en los que incide el DB-HR, para que desde la etapa de diseño se tengan en cuenta las condiciones acústicas, de tal forma que se elijan materiales adecuados para que **el tiempo de reverberación se mantenga dentro de un límite** que no dificulte la transmisión o la percepción de la palabra.

Cuando las aulas y las salas de conferencias son de cierto tamaño (el DB-HR fija el volumen máximo para la aplicación del método de cálculo en 350 m³) es necesario la realización de estudios específicos de mayor complejidad que lo exigido en el DB-HR.

En la parte I del CTE se establece que para cumplirse las exigencias de protección frente al ruido, debe **limitarse el ruido reverberante** de los recintos. Esta exigencia tiene dos motivos:

1. La **disminución de los niveles de ruido** en el interior de los edificios.
2. Una **mayor inteligibilidad de la palabra**, que es especialmente importante en recintos como aulas y salas de conferencias.

Tal y como está planteado en el DB-HR, el acondicionamiento acústico es un problema de la elección de los acabados de las superficies de los elementos constructivos.



Capítulo 3

Fundamentos sobre aislamiento

3.1. Conceptos

Al estudiar el aislamiento de un recinto y conseguir un adecuado confort acústico, es necesario conocer los conceptos básicos de acústica, los cuales a continuación se desarrollan.

El **sonido** puede considerarse como una alteración física que se propaga por un medio, por ejemplo el aire, que puede ser detectada por el oído humano dentro del rango de frecuencias comprendidas entre 20Hz y 20kHz.

El **timbre** es la cualidad mediante la cual podemos distinguir dos sonidos de igual intensidad e idéntico tono que han sido emitidos por focos sonoros diferentes.

El **tono** es una cualidad mediante la cual distinguimos los sonidos graves de los agudos, de forma que la sensación sonora aguda procede de sonidos producidos por focos sonoros que vibran a frecuencias elevadas, mientras que la sensación sonora grave procede de sonidos producidos por focos sonoros que vibran a frecuencias bajas.

La **intensidad** es el volumen (**amplitud**) del sonido, y nos permite distinguir entre sonidos fuertes y suaves. Esta intensidad mide en nivel de presión sonora en (dB), esta presión es la que ejerce la onda de sonido sobre las partículas del medio por el que se propaga. Una intensidad alta del sonido puede resultar incluso perjudicial para la salud humana. El umbral del dolor se puede situar entre los 120-130dB, mientras que el de la audición se sitúa en 0dB. Una exposición prolongada a sonidos por encima del umbral del dolor puede llegar a producir lesiones irreversibles en el oído humano.

La **potencia** (W) es la energía emitida por la fuente acústica por unidad de tiempo.

El **nivel de potencia acústica** (LW) es un parámetro que mide la forma en que es percibida la potencia acústica, es decir, el volumen. La percepción de la potencia es una sensación que es proporcional al logaritmo de esa potencia.

La **frecuencia** es el número de repeticiones de cualquier suceso periódico en un segundo. Para calcular la frecuencia de un evento, se cuenta el número de veces que



ocurre en un periodo de tiempo, y seguidamente se dividen estas repeticiones por el tiempo transcurrido. La unidad utilizada para medir la frecuencia es el Hercio (Hz). El oído humano puede llegar a percibir frecuencias desde 20Hz hasta 20.000Hz. El oído humano es sensible a las frecuencias y su nivel de presión sonora, pudiéndose recrear su respuesta mediante la **ponderación de frecuencia**, siendo el filtro “A” el que simula como se perciben desde el punto de vista de los seres humanos. Si quisiéramos medir los dB sin correcciones, habría que hacerlo en “lineal”. También se pueden obtener los dBA midiendo en “lineal”, si después hacemos una corrección para cada frecuencia.

Bandas de octava. La octava es un intervalo de frecuencias para el oído. Tres bandas de un tercio de octava forman una octava y la resolución de este tipo de espectro es tres veces mejor que la del espectro de la banda de octava.

El **ruido** puede definirse objetivamente, en cuanto que implica el mismo fenómeno físico que constituye un sonido, aunque suele definirse de una manera más subjetiva, considerándose como un sonido molesto o un sonido no deseado. Es decir, el ruido es una apreciación subjetiva del sonido considerándose toda energía acústica susceptible de alterar el bienestar fisiológico o psicológico, interfiriendo y perturbando el desarrollo normal de las actividades cotidianas. Por lo tanto, un mismo sonido puede ser considerado como molesto o agradable, dependiendo de la sensibilidad o actividad que esté desarrollando el receptor.

En los edificios existen dos **fuentes de ruido** principales, y que serán objeto de nuestro estudio, que serán contra los que se aislarán, son las siguientes:

- Fuentes de ruido aéreo externas o internas.
- Fuentes de ruido de impacto y vibraciones.

Entre las fuentes de **ruido aéreo** externas se encuentra el ruido de tráfico, mientras que internas pueden ser producidas, entre otros, por personas, radio, TV, electrodomésticos, ruido de maquinaria.

Las fuentes de **ruido de impacto** pueden ser pisadas, arrastre de sillas o caídas de objetos, por ejemplo. Y las **vibraciones** pueden ser producidas por maquinaria e instalaciones del edificio, como aparatos de aire acondicionado, grupos de presión, ascensor o puerta de garaje, entre otros.



Llamamos **ruido de fondo** al que se percibe en un recinto cuando no se está realizando ningún tipo de actividad en él. Este ruido puede provenir de las mismas instalaciones del edificio o cualquiera de los tipos de ruido descritos.

El **ruido blanco** es una señal que contiene todas las frecuencias con la misma intensidad. Su espectro en tercios de octava es una recta de pendiente 3 dB por octava.

El **ruido rosa** tiene un espectro plano, medido en bandas de tercios de octava. Es por ello que es el que utilizaremos para hacer las mediciones acústicas. Se utilizan tercios de octava ya que es a partir de ahí cuando el oído es capaz de detectar irregularidades en la respuesta en frecuencia.

El **aislamiento acústico** implica impedir que los sonidos generados dentro del mismo recinto trasciendan hacia el exterior y viceversa, haciendo que los ruidos externos no se perciban desde su interior.

El objetivo del **acondicionamiento acústico** de un recinto es conseguir un grado de difusión acústica uniforme en todos los puntos del mismo, mejorando así las condiciones acústicas de sonoridad aumentando el confort acústico interno del local. Es gracias al profesor W. C. Sabine, quien fue pionero en 1895. Sabine definió entonces que las propiedades acústicas de un recinto están determinadas por la proporción de energía sonora absorbida por paredes, techos, suelos y objetos, y que la proporción de sonido absorbido está ligado al tiempo que un sonido emitido en el local desaparezca después de suprimir el foco sonoro.

La **contaminación acústica** es el exceso de ruido que altera las condiciones normales del medio ambiente en una determinada zona. Se trata de un problema que afecta a la sociedad en general, provocado como consecuencia directa y no deseada de las actividades humanas (tráfico, actividades industriales, de ocio, etc.) y que tiene efectos negativos tanto en la salud de las personas como a nivel social y económico.

La Directiva de Productos de Construcción considera la protección contra el ruido como un requisito esencial y la Ley de Ordenación de la Edificación como un requisito básico, en coherencia con la anterior. En todas las sociedades avanzadas se regula reglamentariamente, y en España se hace desde el año 1981 con la aprobación de la primera NBE CA. En la actualidad, con la aprobación del Código Técnico de la Edificación, se ha dado un avance cualitativo en esta materia, tanto por la significativa elevación de los niveles de exigencia, realizada para dar respuesta a una demanda



social, como por la adecuación de los métodos de predicción a la realidad física del problema incluyendo la transmisión por flancos.

El **tiempo de reverberación** mide la velocidad a la que decae un sonido en un ambiente cerrado en un tiempo. Depende del volumen del local y de los materiales superficiales interiores de paredes, techo y suelo. El tiempo de reverberación aumenta con el tamaño del local, y puede producir sonidos de difícil comprensión, ininteligibles.

Por **campo sonoro** se entiende el valor que adquiere la presión sonora en cada punto del espacio. A los efectos del análisis, el campo sonoro se divide en dos componentes: el campo directo y el campo reverberante. El campo directo contiene la parte del sonido que acaba de ser emitido por la fuente, y que por lo tanto aún no experimentó ninguna reflexión, y el campo reverberante, en cambio, incluye el sonido después de la primera reflexión.

La **absorción acústica**: las superficies de un recinto reflejan sólo parcialmente el sonido que incide sobre ellas; el resto es absorbido. Según el tipo de material o recubrimiento de una pared, ésta podrá absorber más o menos el sonido.

La **reverberación** y el **eco** son fenómenos producidos por la reflexión del sonido, pero la reverberación la percibimos como una prolongación del sonido, mientras que el eco como una repetición del mismo. Para el tiempo de reverberación se tiene en cuenta el sonido directo y el reflexionado.

La **inteligibilidad** es el porcentaje de palabras correctamente interpretadas por el oyente. Se aconseja en general, que el índice de inteligibilidad sea superior al 80%. La inteligibilidad está relacionada con el tiempo de reverberación TR y con el ruido de fondo BNL.

3.2. El sonido y la presión sonora.

Otra posible definición de **sonido**, sería como la percepción humana o animal, por extensión, consecuencia del estímulo de sus órganos auditivos fruto del choque de las moléculas del fluido entorno a los mismos, en forma de ondas de presión.

Estrictamente el sonido no viaja de ningún lugar a otro, puesto que **el sonido es “generado” en nuestro cerebro**. En realidad cuando usamos comúnmente los términos sonido, propagación del sonido, nos estamos refiriendo a la propagación de las ondas de presión a través de un medio material.



Así, un cuerpo vibrante excitado, comunica parte de su energía, al fluido circundante en forma de choques entre sus moléculas, de tal forma que las sucesivas oscilaciones son comunicadas a las moléculas del fluido, produciéndose la onda de presión que se transmite en la distancia. Por lo tanto, para que se pueda dar la propagación de las ondas de presión es **indispensable la existencia de un medio material** (aire, agua), a través del cual puedan transmitirse las ondas de presión.

Entre los parámetros característicos de una onda para un tono puro, destacan:

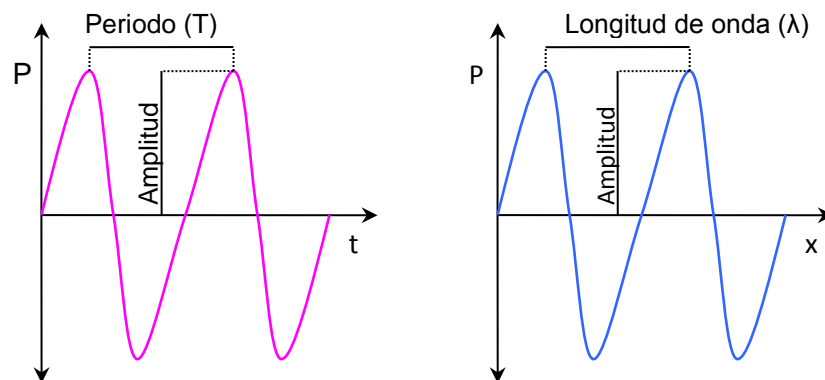


Gráfico 3.1. Parámetros fundamentales de una onda de presión.

- El **periodo**, que es el tiempo necesario para que tenga lugar una oscilación completa. Está relacionado con la naturaleza de la fuente emisora, y su inversa es la frecuencia, medida en Hz. Un periodo pequeño implica una frecuencia alta, que se asocia a los tonos agudos, mientras que un periodo mayor implica una frecuencia baja, que se asocia a los tonos más graves. El periodo está directamente relacionado con la longitud de onda (λ) a través de la velocidad de propagación de la onda de presión, por ello, es equivalente hablar en términos de periodo o de longitud de onda.
- La **amplitud**, que se asocia a la sonoridad. Para dos ondas de presión de la misma forma y frecuencia, se percibe una mayor sonoridad (“volumen”), en la onda de presión de mayor amplitud.

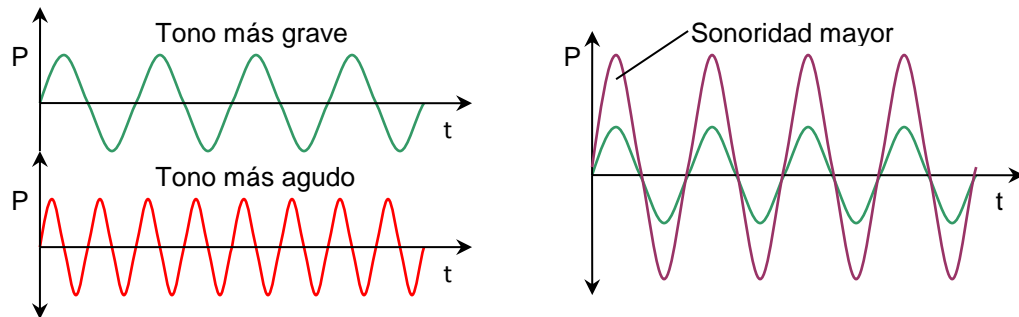


Gráfico 3.2. Variaciones de frecuencia y amplitud

A continuación se muestran las **relaciones** existentes entre los **parámetros** característicos de una onda de presión para un tono puro, así como sus unidades según el sistema internacional.

<u>Presión</u> (Amplitud)	<u>Periodo</u>
P en (N/m) o (Pa)	T en (s)
<u>Frecuencia</u>	<u>Velocidad de propagación</u>
f = 1/T en (Hz)	c en (m/s)*
<u>Longitud de onda</u>	* La velocidad de propagación de las ondas de presión depende de la densidad del medio. Para el caso del aire al nivel del mar y en condiciones normales y de campo libre c es igual a 340 m/s.
$\lambda = c \cdot T$ en (m)	

Figura 3.1. Relaciones entre parámetros característicos de una onda de presión.

3.2.1 El decibelio

Cuando se toman en consideración los valores de presión sonora que el oído humano es capaz de percibir, en las **unidades del sistema internacional**, N/m, se da la circunstancia de que el rango audible va desde los 20 μPa , para el límite inferior, hasta más allá de los 100 Pa, donde se encuentra el umbral del dolor. Trabajar con valores numéricos que pueden llegar a diferenciarse en valor, en un orden de 10^8 es francamente engorroso y por este motivo se recurre al decibelio (dB).

El **decibelio** es una unidad de tipo logarítmico, lo que permite que todo el rango de niveles de presión audibles queden comprendidos entre los valores 0 y 140 dB.



Aunque, el trabajar con este tipo de unidad logarítmica, conlleva también otra serie de contrapartidas a la hora de realizar operaciones entre los valores en decibelios.

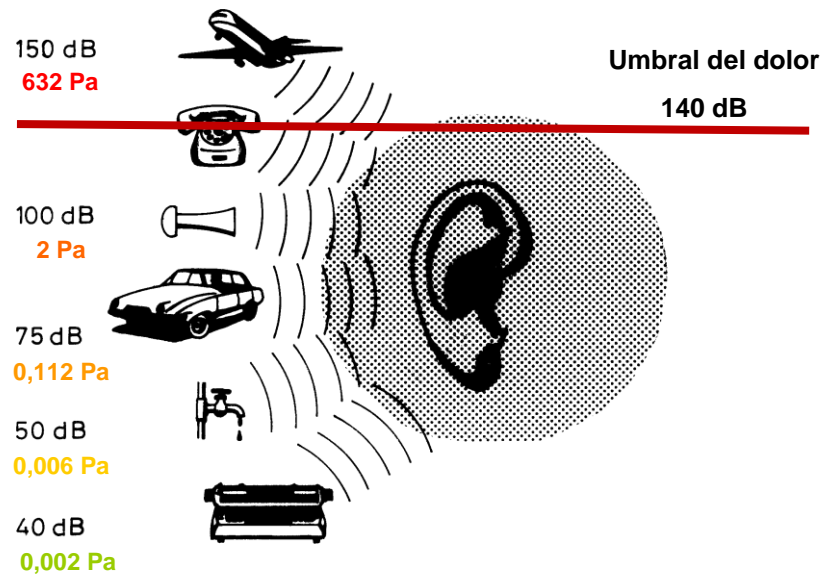


Figura 3.2. Comparativo de niveles de presión sonora.

Para realizar la conversión de la **presión sonora** a su correspondiente nivel en decibelios, y viceversa, se recurre a las siguientes expresiones:

$$L_p(dB) = 10 \cdot \log\left(\frac{P^2}{P_0^2}\right)$$

$$P(Pa) = \sqrt{P_0^2 (10)^{L_p/10}}$$

Siendo,

L_p nivel de presión sonora en dB.

P presión sonora en Pa.

P_0 umbral de presión, igual a $20 \cdot 10^{-6}$ Pa.

Los **niveles de presión sonora** en unidades de decibelios deben tratarse con cautela, ya que en operaciones que a priori parecerían sencillas como una suma de niveles, resta o promediado, no se puede proceder al cálculo directamente operando con la unidad logarítmica del decibelio. Para realizar las operaciones de forma correcta



debe realizarse previamente la reconversión a pascales y deben considerarse las presiones al cuadrado, ya que las operaciones tienen sentido en términos de intensidad sonora, relacionada con la energía comunicada, y es la presión al cuadrado la que se relaciona con la intensidad.

Teniendo en cuenta esta circunstancia se obtienen varios resultados:

- De la **suma de dos niveles idénticos**, se obtiene un nivel resultante que supera en 3 dB a los niveles de partida, es decir, un aumento de 3 dB duplica el volumen sonoro. Además, en el caso de la suma de dos niveles que se diferencian en 10 dB o más, el resultado de la suma coincide con el valor más alto de los dos, es decir el valor menor, no aporta nada a la suma.
- Cuando se trata de **restar el nivel del ruido de fondo**, dicha resta solo es posible si el nivel de la fuente supera en al menos tres decibelios al nivel de ruido de fondo, ya que de lo contrario el error cometido debido a la incertidumbre sería considerable. Por otro lado cuando el nivel de fuente excede en 10 dB o más, al nivel de fondo, se puede considerar que el valor de la fuente es el mismo que el nivel conjunto (fuente más ruido de fondo), ya que con tal diferencia de nivel, el ruido de fondo no contribuiría de forma apreciable en el valor en decibelios.
- Cuando se **promedian diferentes niveles**, por ejemplo para obtener un valor promediado entre los distintos niveles obtenidos en posiciones diferentes de una misma sala (promediado espacial), en este caso, todos los valores por bajos que sean contribuyen en el promediado. No pueden despreciarse los valores inferiores aun diferenciándose en más de 10 dB respecto del mayor como si ocurría en la suma.

A continuación, se muestran a algunas de las expresiones que deben de emplearse para la realización de operaciones con niveles en decibelios:



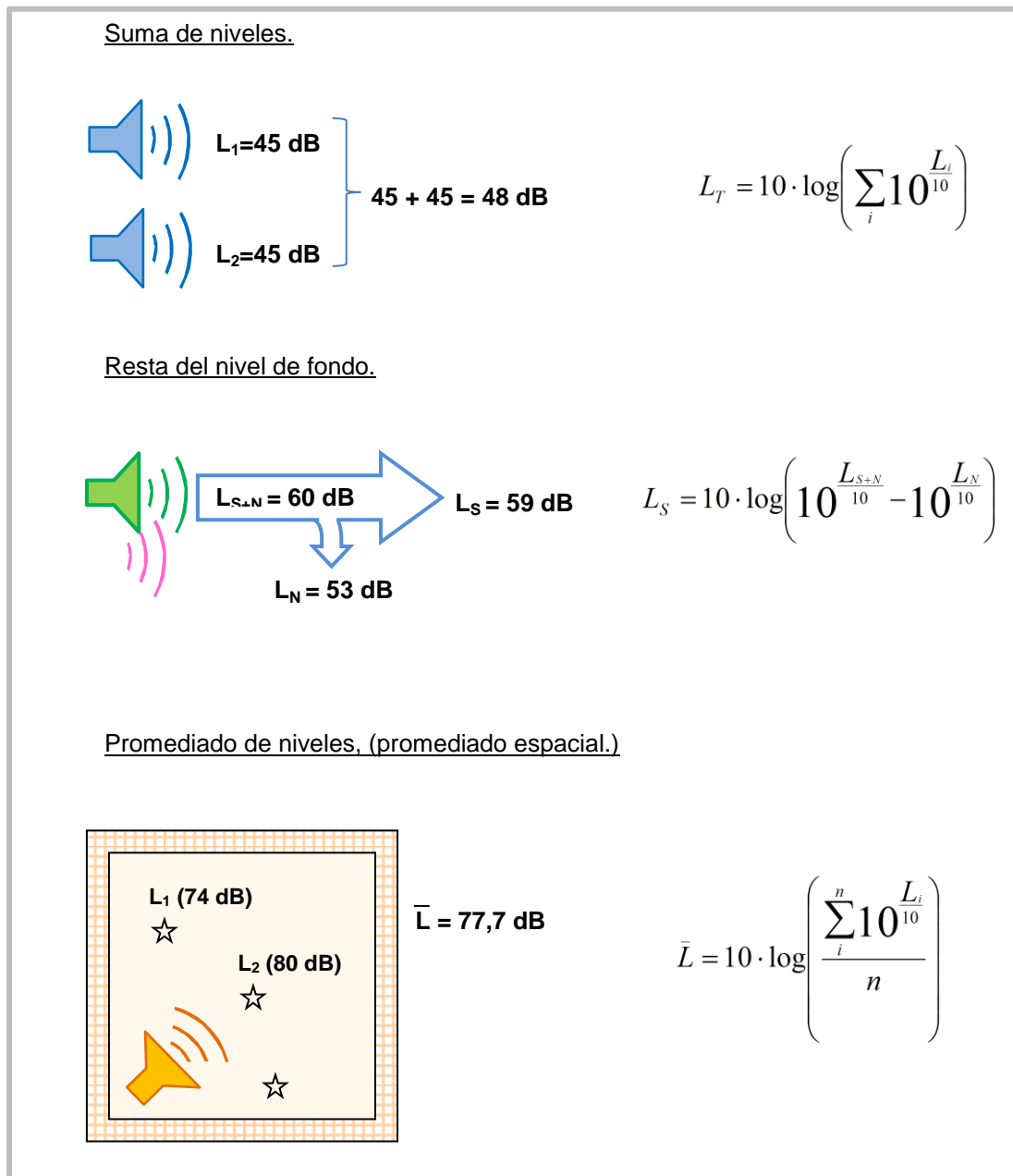


Figura 3.3. Operaciones más comunes con niveles de presión en dB.

3.2.2 Ponderación temporal de la presión sonora: RMS y L_e .

La presión sonora, no tiene un valor constante en el tiempo. Ya para un tono puro, como se ha visto, la presión oscila según una función senoidal. Si además, consideramos, que el ruido real, está formado, por diversas contribuciones de distinto origen y que tienen un **comportamiento en algunos casos caótico y aleatorio**, como el ruido del tráfico, por ejemplo, se hace necesario establecer parámetros como el RMS y el nivel continuo equivalente (L_{eq}), que se encargan de dar un valor único promediado

en el tiempo de las variaciones de los presión en pascuales en el primer caso y en decibelios para el segundo caso.

El **valor RMS de la presión** es la raíz cuadrática media de la presión en Pa, en función del tiempo. Aunque, en la práctica se recurre al cálculo mediante la medida de puntos discretos, en intervalos de tiempo igualmente espaciado.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) \cdot dt}$$

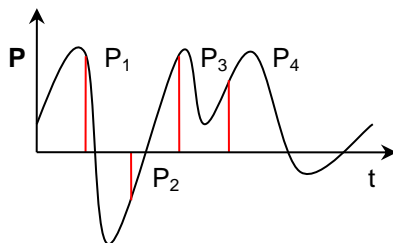
$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_i^n P_i^2}{n}}$$

Siendo:

$P(t)$ presión en función del tiempo, en N/m^2 .

T tiempo total considerado.

N número total de valores discretos de P_i considerados.



$$RMS = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + P_4^2}{4}}$$

Gráfico 3.3. Ejemplo de Medida del valor RMS por puntos discretos.

El **nivel continuo equivalente, L_{eq}** , dado en dB, por otro lado, se obtiene de la siguiente expresión, útil, cuando se trata de tonos puros, en los que se conoce la función de la presión con el tiempo. Para la aplicación a las medidas reales se emplea, la expresión posterior, útil para la determinación del L_{eq} partiendo de la medida de valores discretos de presión igualmente espaciados en el tiempo.



$$L_{eq} = 10 \cdot \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P(t)^2}{P_0^2} \cdot dt$$

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left(\frac{\sum_i^n \frac{P_i^2}{P_0^2}}{n} \right)$$

Siendo:

- P(t) presión en función del tiempo, en N/m².
- T tiempo total considerado.
- N número total de valores discretos de P_i considerados.

Nota: El término P_i^2 / P_0^2 es análogo a $10^{L_i/10}$ y mediante ese cambio, se puede obtener el L_{eq} promediando directamente los niveles de partida en dB.

3.2.3 Frecuencias de muestreo.

Las frecuencias de muestreo que se utilizan habitualmente en la **medida de niveles**, son tres: slow, fast e impulse. Estas frecuencias corresponden al número de medidas que el instrumento realiza por segundo y que va integrando a lo largo del tiempo total de medida para la obtención del L_{eq} . La elección de una u otra depende de la naturaleza de la onda de presión medida.

- **Slow**, con 1 muestra por segundo, se emplea cuando la señal sonora es poco oscilante.
- **Fast**, con 8 muestras por segundo, utilizada cuando la señal sonora es muy oscilante.
- **Impulse**, con un gran número de muestras por segundo, es utilizada para detectar valores pico máximos.

3.2.4 Filtros de octava y tercio de octava (espectros).

Una **octava**, comprende un rango de frecuencias, tales que, se corresponden aproximadamente con el intervalo de frecuencias que comprende una octava en la escala musical. Si dividimos todo el rango de frecuencias audibles en bandas de octava, tenemos que, con ocho octavas se cubre todo el rango de frecuencias.



La frecuencia central de cada banda es la que da nombre a la octava y se cumple que, cuando se pasa de una octava a la siguiente, se duplica el valor de la frecuencia.

Para estrechar más aun los rangos de frecuencias, se recurre a la división en bandas de **tercio de octava** con lo que cada octava a su vez se subdivide en tres regiones. De este modo todo el rango de frecuencias audibles queda dividido en veinticuatro tercios de octava.

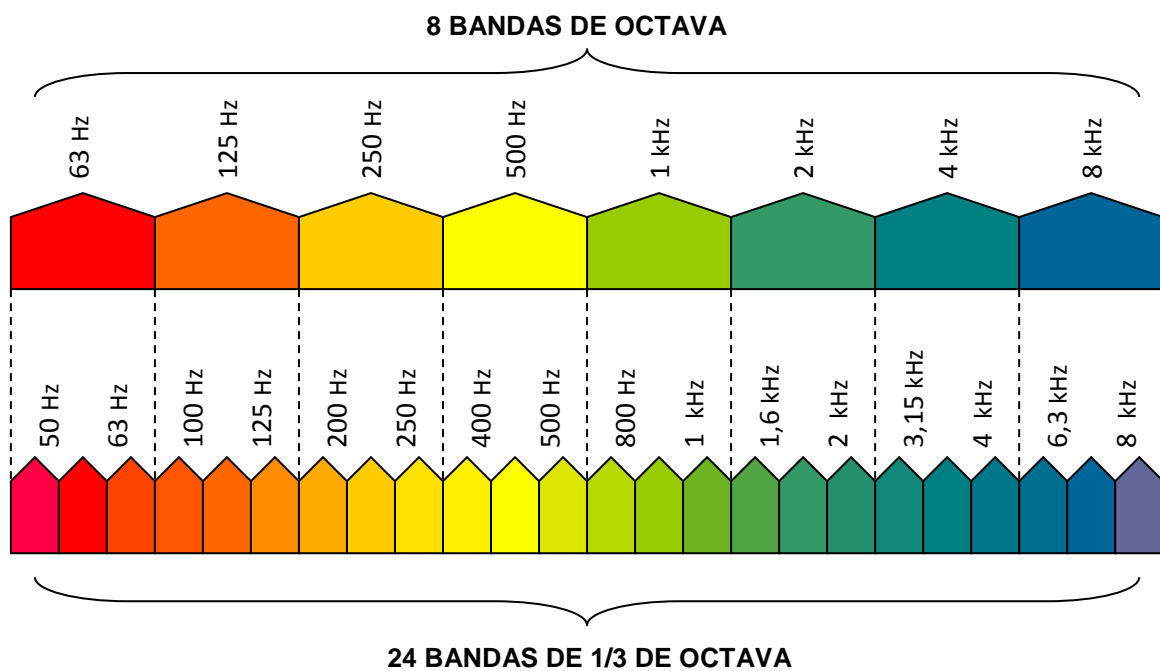


Figura 3.4. Bandas de octava y de 1/3 de octava.

Mediante la aplicación de filtros que restringen la medida de los niveles de presión sonora, permitiendo únicamente, que cada componente frecuencial contribuya al nivel medido dentro de su octava o 1/3 de octava correspondiente, se pueden obtener los espectros.

Un **espectro en bandas de octava**, no es más que la representación gráfica en forma de barras, de los niveles medidos para cada banda, cuando se emplea el filtrado frecuencial. Además, se cumple que, de la suma de los niveles de cada una de las octavas, resulta el valor global que se obtendría tratando todas las frecuencias de manera conjunta.

Un **espectro en tercios de octava**, es análogo al de octava salvo en que proporciona veinticuatro valores y por consiguiente aporta un mayor detalle.



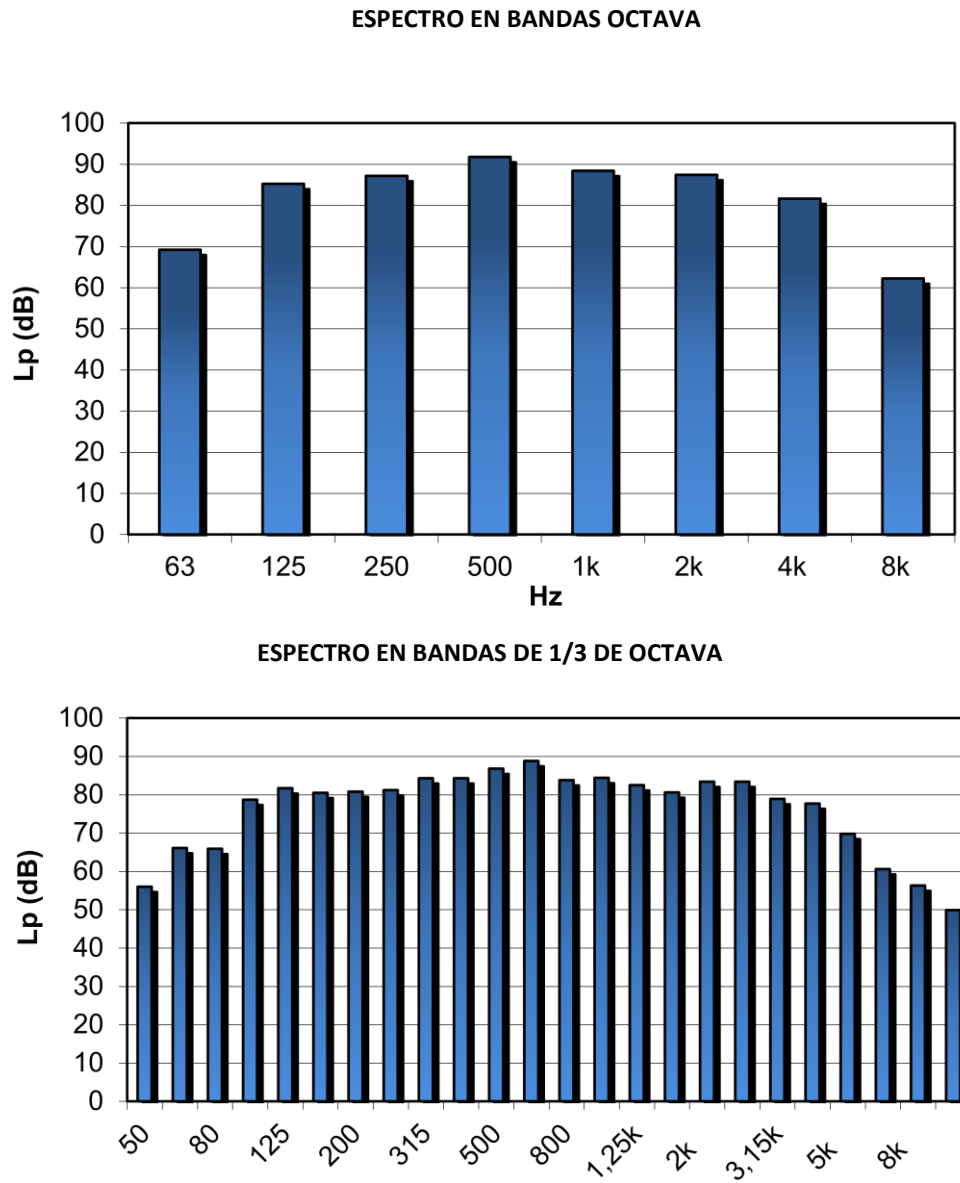


Gráfico 3.4. Espectros en banda de octava y 1/3 de octava.

3.2.5 Ponderación frecuencial A.

Ocurre, que la **relación entre la sonoridad percibida en la audición y la presión sonora medida, no es la misma** para todas las frecuencias, sino que, el oído humano a igualdad de nivel de presión sonora percibe mayor o menor sonoridad, según, la frecuencia de que se trate. Esta peculiaridad de nuestro sentido de la audición hace que ciertos tonos sean especialmente molestos con respecto a otros.

Para tener en cuenta esta circunstancia y obtener un valor de L_{eq} que considere la distinta sensibilidad del oído a la frecuencia, lo que se hace, es medir los niveles en



bandas de octava o 1/3 de octava y una vez obtenido el espectro, **cada valor es corregido**, sumándosele o restándosele una cantidad en decibelios, según la **curva de ponderación A**. Sumando los valores corregidos, ponderados A, para cada banda, se obtiene el valor $L_{eq}(A)$.

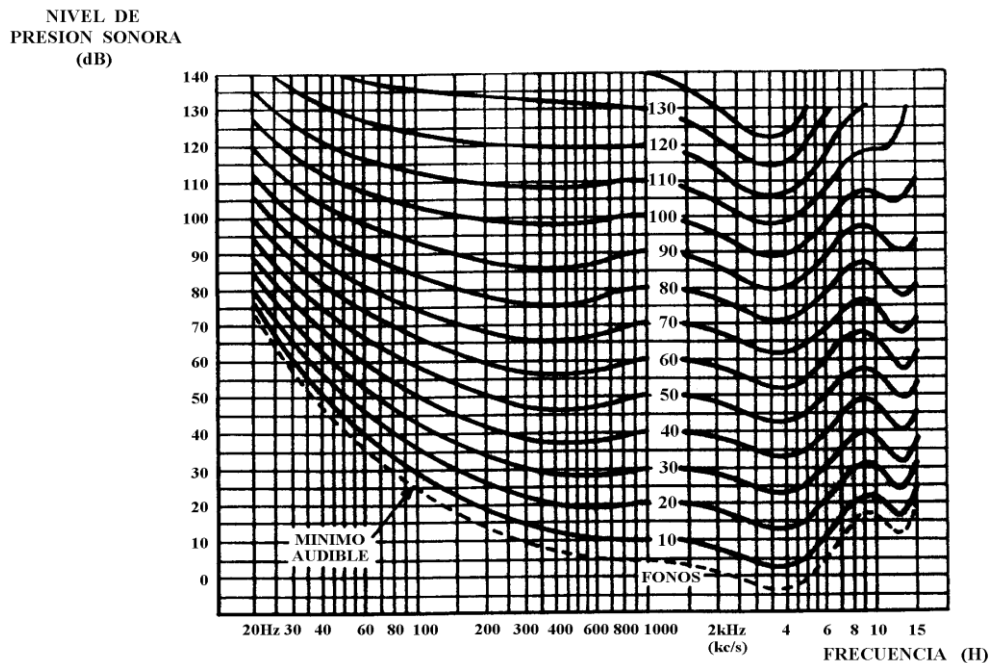


Gráfico 3.5. Curvas de isosonoridad, respecto del tono puro de 1 kHz.

La **curva de ponderación A** se ha obtenido mediante tests sobre grupos de personas representativas estadísticamente del conjunto de la población.

Existen otros tipos de ponderaciones frecuenciales, como la ponderación B o la C, que tienen en cuenta otros factores con los que corregir los espectros lineales medidos, pero no serán consideradas en este estudio.



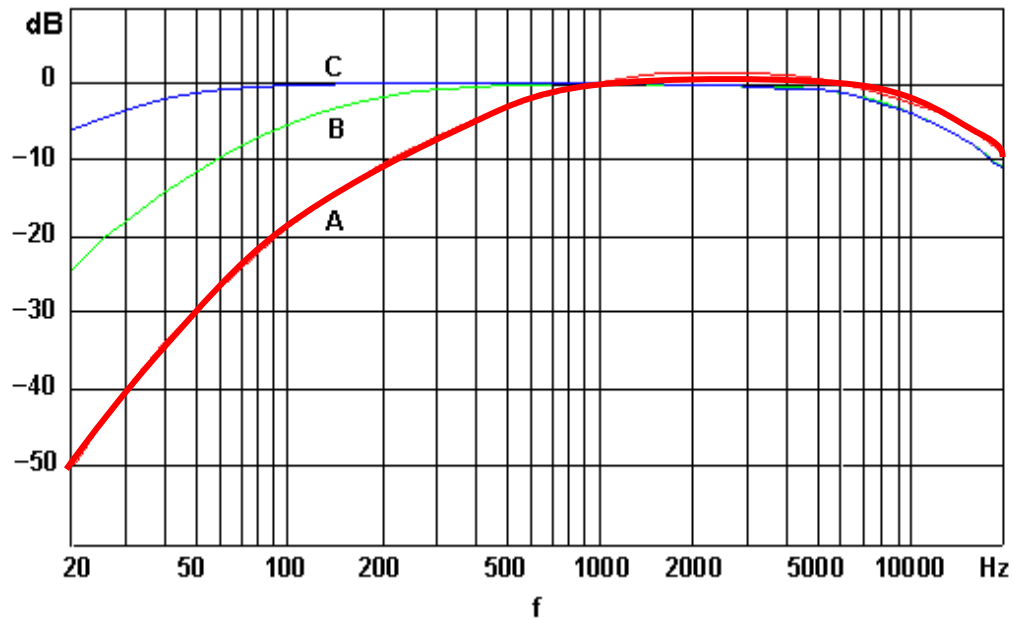


Gráfico 3.6. Curvas de ponderación frecuencial A, B y C.

A continuación se muestra la **tabla con las correcciones en decibelios** en bandas de tercio de octava según la **ponderación A** en el intervalo entre 100 Hz y 5 kHz.

<i>f</i> 1/3 octava (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Pond. A (dB)	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1

800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	2,15k	4k	5k
-0,8	0	0,6	1	1,2	1,3	1,2	1	0,5

Tabla 3.1. Corrección según la ponderación A en bandas de 1/3 de octava.

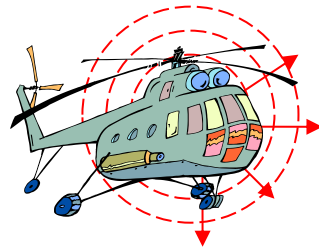
3.3.- Comportamiento del sonido en un recinto.

En el interior de un recinto el comportamiento de las ondas de presión es bien **distinto del que se da en campo abierto** (campo libre).

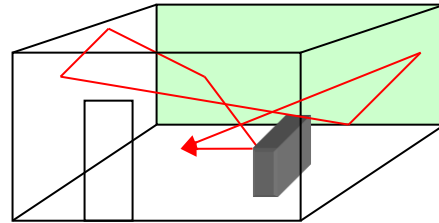
En un **recinto** las ondas de presión procedentes de la fuente sonora, al encontrarse con una barrera de dimensiones superiores a la longitud de onda incidente, son reflejadas en parte, produciéndose sucesivos rebotes con las paredes. Cuando dichas reflexiones llegan a ser indistinguibles, unas de otras se dice que se da la



situación de campo reverberante. Así en estas condiciones, el nivel de presión sonora medido es mayor que el que le correspondería en condiciones de campo libre.



Campo libre. Un helicóptero suspendido en el aire.



Campo reverberante. Una fuente confinada en un recinto.

Figura 3.5. Campo libre y campo reverberante.

Cuando una **onda sonora se encuentra con una barrera**, parte de la energía incidente es reflejada, parte es transmitida al otro lado y parte es absorbida por el elemento separador, disipándose en forma de calor. Por este motivo el nivel de presión sonora que se mide, desde el momento en que se conecta la fuente sonora, comienza a aumentar, fruto de la energía aportada por las reflexiones, hasta que comienza a aumentar la energía que se transmite a través de las paredes y se alcanza una situación de equilibrio, donde el nivel de presión sonora permanece estable para cada posición del recinto.

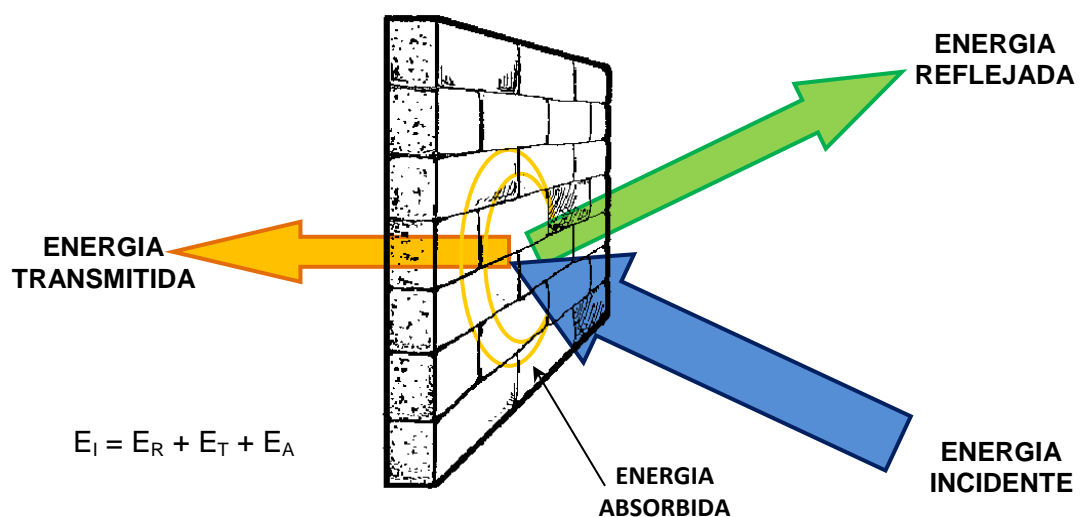


Figura 3.6. Balance energético en un elemento constructivo.

Básicamente **los elementos de construcción se clasifican en dos grupos según la finalidad que persigan**. Si el objetivo buscado es la reducción del sonido transmitido se recurre al empleo de los materiales llamados, **aislantes**, mientras que, si se busca una disminución en el sonido reflejado, los materiales absorbentes serán los empleados.

3.3.1 Tiempo de reverberación.

El **tiempo de reverberación** es un parámetro de gran utilidad cuando se estudia el aislamiento acústico a ruido aéreo de un recinto.

En un **recinto cerrado** en el que se encuentra una fuente sonora en funcionamiento, una vez que se apaga la misma, hay un periodo de tiempo en el cual el sonido sigue “suspendido” aún con la fuente apagada. Esto se debe a que las ondas sonoras continúan reflejándose en las paredes del recinto hasta que se atenúan por completo.

El **tiempo de reverberación (T_r)** es el tiempo que tarda el nivel de presión sonora en alcanzar una caída de 60 dB respecto del nivel inicial, una vez apagada la fuente sonora.

En ocasiones, lograr que la fuente sonora genere un nivel tal, que permita que, en la sala contigua, según requiere la norma ISO 140, por citar un caso, se consiga que el nivel de presión sonora quede los 60 dB por encima del nivel del ruido de fondo, necesarios para la determinación del tiempo de reverberación, puede ser una tarea complicada. Dado que la caída del nivel de presión en decibelios en los recintos es lineal con el tiempo, un nivel de unos 40 dB por encima del nivel de fondo es suficiente para la determinación del tiempo de reverberación.

En estos casos se determina el tiempo de caída del nivel en 20 dB (T_{r20}) o en 30 dB (T_{r30}), preferiblemente y por extrapolación se obtiene el valor del tiempo de reverberación.



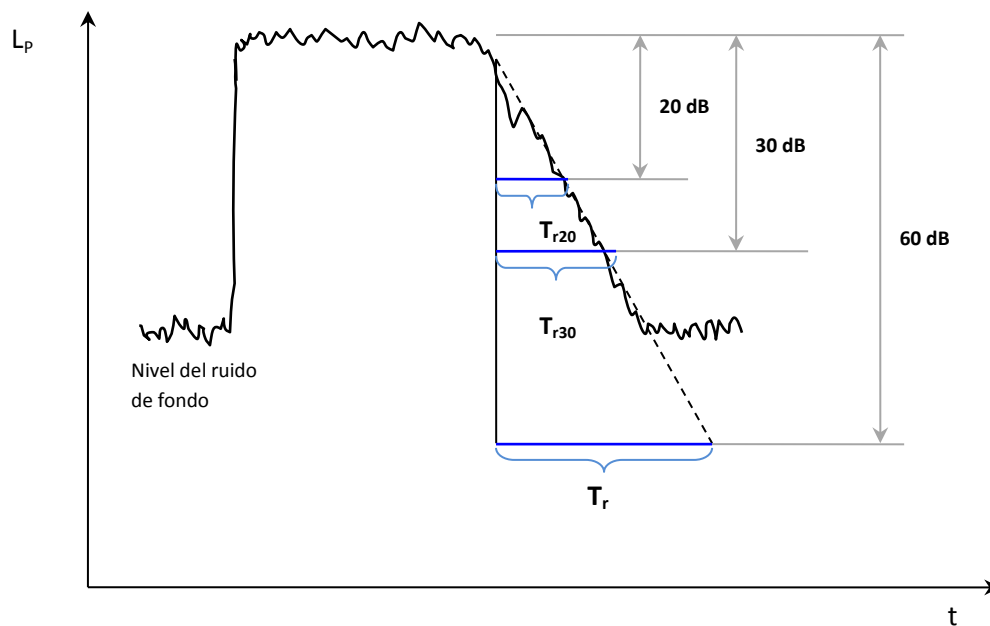


Gráfico 3.7. Determinación del tiempo de reverberación.

3.3.2 Fórmula de Sabine para el tiempo de reverberación.

El tiempo de reverberación está relacionado con el volumen y la absorción total del recinto. Dicha relación fue establecida empíricamente por Sabine, dando buenos resultados en su aplicación en los recintos más comunes. Sin embargo, la relación no es válida cuando el recinto presenta límites muy absorbentes, como en el interior de una sala anecoica. La expresión a la que llegó Sabine es la siguiente:

$$T_r = \frac{0,16 \cdot V}{A}$$

Siendo:

- T_r tiempo de reverberación en s.
- V volumen del interior del recinto, en m^3 .
- A absorción del recinto, en m^2 .



El término A , se refiere a la absorción total del recinto y se obtiene del sumatorio de las absorciones de cada elemento del recinto (paredes, techo, suelo mobiliario e incluso las personas que lo ocupan). Cada término de absorción es a su vez el producto de la superficie del elemento por su coeficiente de absorción α característico del tipo de material o construcción empleado.

A continuación se muestra la expresión que relaciona los términos citados:

$$A = \sum_i^n \alpha_i \cdot S_i$$

Siendo:

A absorción, en m^2 .

α_i coeficiente de absorción, para el elemento i .

S_i superficie del elemento i , en m^2 .

Los **coeficientes de absorción sonora de los materiales**, indican la **proporción de sonido absorbido**, respecto del sonido incidente total. Dichos coeficientes se obtienen de ensayos realizados en el laboratorio.

Mediante la **fórmula de Sabine**, puede obtenerse un **valor aproximado del tiempo de reverberación** que se conseguirá en una sala determinada, en el mismo momento del diseño de la misma sobre el papel. Es por tanto una herramienta muy útil en el diseño y acondicionamiento de recintos. El inconveniente que presenta es la determinación de la absorción real de la sala, ya que es necesario conocer los coeficientes de absorción sonora, " α ", para cada elemento del recinto, lo cual no es siempre una tarea fácil.

Desde el punto de vista del aislamiento acústico, la fórmula de Sabine es de gran utilidad, ya que, permite obtener la absorción mediante la determinación de tiempo de reverberación de la sala "in situ". Se trata pues, del paso inverso. Partiendo del tiempo de reverberación medido, se despeja el término de absorción de la sala. De este modo no es necesario conocer cada uno de los coeficientes de absorción de los materiales de la sala para obtener la absorción.



$$A = \frac{0,16 \cdot V}{T_r}$$

Siendo:

A absorción del recinto, en m².

T_r tiempo de reverberación medido, en s.

V volumen del interior del recinto, en m³.

La absorción obtenida así, es uno de los términos necesarios para el cálculo del índice de reducción sonora según la norma ISO 140-1978.

3.4. Aislamiento a ruido aéreo

Índice de reducción sonora de un tabique.

El aislamiento acústico a ruido aéreo que proporciona un tabique, se expresa mediante el **índice de reducción sonora, R**, el cual representa la relación en decibelios entre la potencia sonora que incide en la pared y la potencia sonora transmitida a través de la misma.

$$R = 10 \cdot \log \frac{W_i}{W_t}$$

Siendo:

R índice de reducción sonora, en dB.

W_i potencia incidente en la pared, en W.

W_t potencia transmitida a través de la pared, en W.



Cuando se estudia el comportamiento del índice de reducción sonora de un tabique, en función de la frecuencia, (lo cual se consigue, trabajando con los espectros en bandas de octava o de 1/3 de octava), se aprecia una diferencia en el comportamiento del aislamiento, según el tramo de frecuencias de que se trate. Estas diferencias se deben a los distintos mecanismos que dominan en el comportamiento del tabique con la frecuencia. Así, se pueden considerar las zonas de rigidez, resonancia, masa y coincidencia controladas.

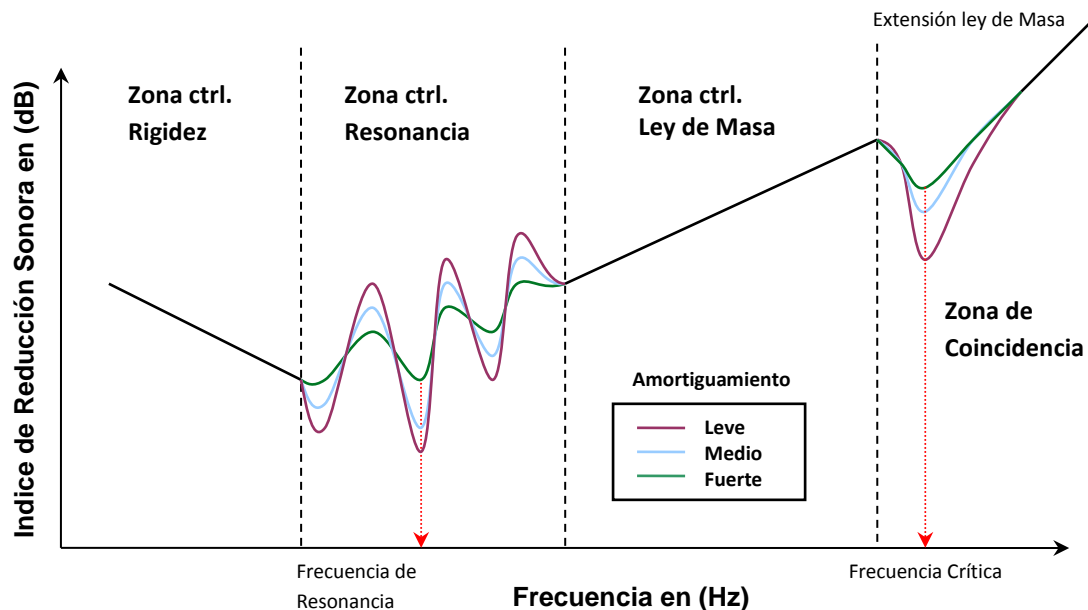


Gráfico 3.8. Comportamiento del Índice de Reducción Sonora con la frecuencia.

3.4.1 Zona de rigidez.

La **zona de rigidez** es la región que comprende las más **bajas frecuencias**. Puede llegar hasta las proximidades de los 50 Hz. En este tramo se produce una caída del aislamiento con la frecuencia según una línea recta. Este tramo no tiene mucho interés desde el punto de vista de este estudio, puesto que el aislamiento medido comprende las regiones entre los 100 y los 3150 Hz, quedando este tramo fuera del rango de frecuencias a estudio.

3.4.2 Zona de resonancia.

La **zona de resonancia** es la región entorno a la que se encuentra la **frecuencia natural de vibración del tabique**, (frecuencia de resonancia). Se encuentra a continuación de la zona de rigidez pero aun en frecuencias bajas, del entorno de 70 u



80 Hz. En esta zona, el índice de reducción sonora va incrementándose con la frecuencia, pero presenta unas oscilaciones con máximos y mínimos relativos entorno a la frecuencia de resonancia. Dichas oscilaciones varían en amplitud según se trate de tabiques con mayor o menor amortiguamiento.

3.4.3 Zona controlada por la ley de masa.

En esta región el índice de reducción sonora aumenta en 6 dB por cada duplicación de la frecuencia, para un tabique de masa por unidad de área dada, o bien, se produce **el incremento en 6 dB, cuando se duplica la masa por unidad de área** del tabique para una misma frecuencia.

A continuación se muestra la expresión de la Ley de masa:

$$R = 20 \cdot \log(M \cdot f) + 20 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot \cos\theta}{\rho_0 \cdot c}\right)$$

$$R = 20 \cdot \log(M \cdot f) + K$$

Siendo:

- R índice de reducción sonora, en dB.
- M masa por unidad de área, en Kg/m².
- F frecuencia incidente, en Hz.
- Θ ángulo incidente respecto de la horizontal.
- ρ₀ densidad del aire ≈ 1,29 Kg/m³.
- c velocidad de propagación de las ondas de presión ≈ 340 m/s.
- K constante igual a -47 dB.

El segundo término de la expresión puede condensarse en la constante K en las condiciones normales de trabajo y de esta forma se obtiene la expresión final, de mayor sencillez para su aplicación al estudio del aislamiento a ruido aéreo.



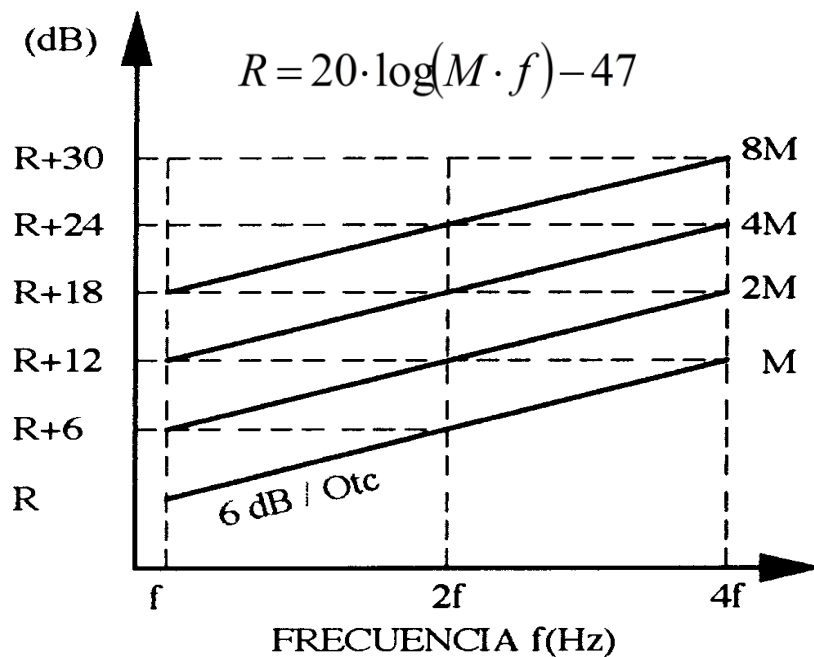


Gráfico 3.9. Comportamiento de la ley de masa.

Cuando se comparan los resultados reales de aislamiento obtenidos, con la predicción que ofrece la ley de masa dentro de su rango de frecuencias de validez, se aprecia una discordancia en los resultados. En la realidad, al duplicarse la frecuencia, el incremento en el aislamiento puede ir desde los 5 hasta los 10 dB, dependiendo del material de que se trate.

3.4.4 Zona controlada por el efecto de coincidencia.

Ocurre que llegada cierta frecuencia, se rompe la tendencia ascendente en el aislamiento, marcada por la ley de masa, y se produce una pérdida de aislamiento muy acusada. Esta disminución brusca del aislamiento se da en torno a la llamada frecuencia crítica (f_c). La zona de coincidencia comprende esa región de frecuencias donde se redujo la disminución del aislamiento debido al efecto de coincidencia.

Una vez superado este tramo, el aislamiento aumenta con la frecuencia, según lo que se conoce como extensión de la ley de masa, donde el aislamiento aumenta en 9 o más dB al duplicarse la frecuencia.



El efecto de coincidencia se produce cuando **la longitud de onda incidente del sonido en el aire, es la misma que, la longitud de las ondas de flexión del propio tabique**. Este fenómeno se produce para una frecuencia y un ángulo de incidencia determinados. Las ondas de flexión del tabique se amplifican y transmiten la energía acústica al otro lado, casi sin atenuación, produciéndose como resultado una pérdida de aislamiento. Pero en la práctica las ondas de presión llegan al tabique en todas direcciones, lo que provoca que se produzca la caída del aislamiento en una banda de frecuencias entorno a la frecuencia crítica, siendo la frecuencia crítica aquella donde se alcanza el mínimo relativo de aislamiento.

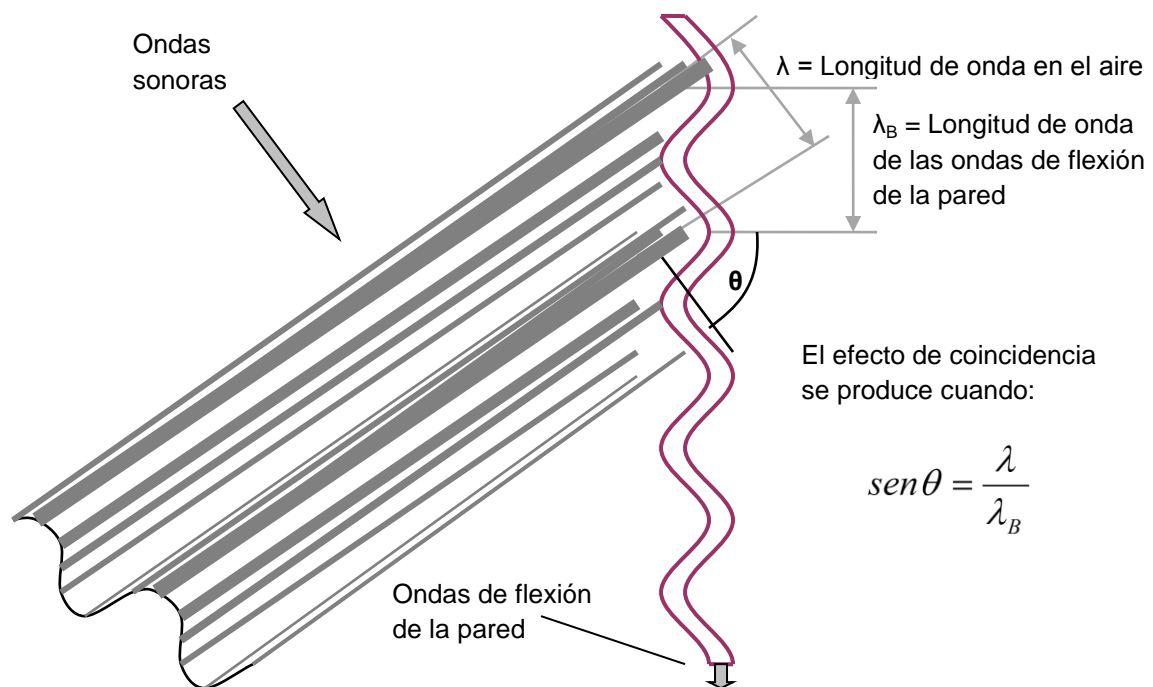


Figura 3.7. Efecto de coincidencia.

El efecto de coincidencia es **uno de los factores que perjudica más seriamente el aislamiento acústico de un material**, especialmente cuando se da a las frecuencias comprendidas entre los 200 y los 2000 Hz, frecuencias del ámbito del habla y de los sonidos más comunes que se dan en la edificación, como el ruido del tráfico, instalaciones y electrodomésticos.

Se debe ser cauteloso cuando se escoge un material para la construcción de un elemento separador, debiéndose escoger aquellos materiales que presenten la frecuencia de coincidencia fuera de este rango de frecuencias inaceptables mientras sea posible o aquellos materiales que aun teniendo la frecuencia crítica dentro del rango de frecuencias citado presentan una pérdida de aislamiento mínima.



En el siguiente esquema, se muestran las frecuencias críticas para distintos tipos de material y espesores:

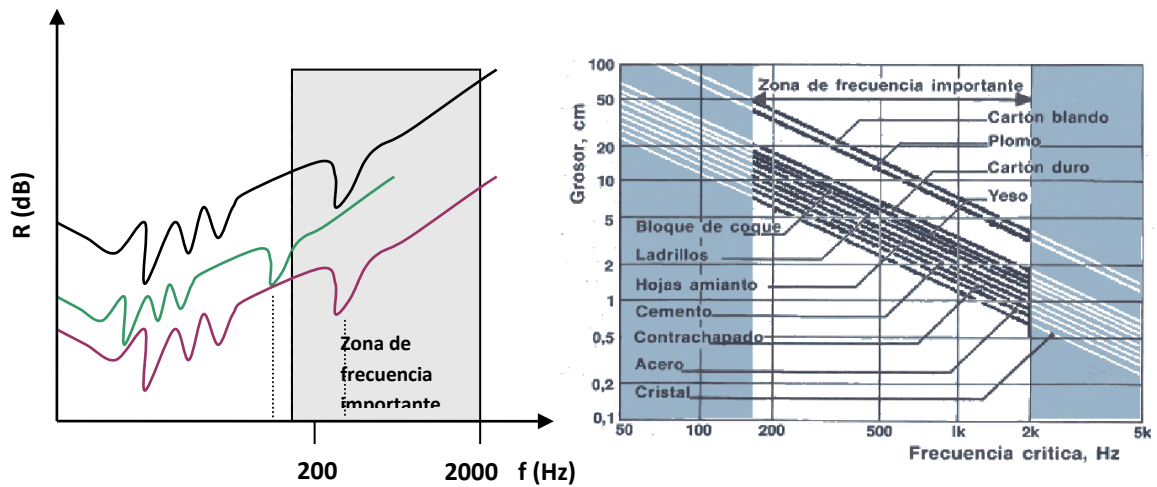


Gráfico 3.10. Frecuencias críticas atendiendo al tipo de material y al espesor.

En general, la **frecuencia crítica, se desplaza a frecuencias más bajas** al aumentarse el espesor del material escogido. Si nos fijamos en el diagrama de la derecha, se puede apreciar que un cristal, como el empleado en las ventanas, presenta su frecuencia crítica por encima de los 2 kHz, quedando fuera de la zona de frecuencias de importancia, aunque dado su reducido espesor, el aislamiento global será escaso. Por el contrario un muro de ladrillo de 10 cm de espesor presenta su frecuencia crítica próxima a los 200 Hz, quedando aun dentro de la zona de frecuencias de importancia, y a pesar de este motivo, el aislamiento global es muy superior al del cristal incluso a la frecuencia crítica del muro, debido a la gran diferencia en los espesores.

Esta comparación realizada pone de manifiesto, que no solo se debe poner atención en la búsqueda de frecuencias críticas adecuadas, sino que, se debe buscar la situación de compromiso, entre el comportamiento global del aislamiento (ley de masa) y el comportamiento especial debido a la pérdida de aislamiento en la zona de coincidencia. Así, para lograr un buen aislamiento, adaptado a las necesidades requeridas, se puede escoger entre los distintos tipos de materiales y espesores disponibles. Otra alternativa consiste en el empleo de tabiques de doble hoja como se describe en el siguiente apartado.

3.4.5 Tabique de doble hoja.



Hoy en día, es **común** el empleo de tabiques dobles en la edificación. Con un tabique de doble hoja de masa equivalente a otro de hoja sencilla se consigue **desplazar el efecto de coincidencia a frecuencias mayores**, y además, se logra un mayor aislamiento global, que el que le correspondería al tabique sencillo previsto por la ley de masa. Suele ser común, la **elección de hojas de distinto espesor**, para **evitar que coincidan las frecuencias críticas** y se sumen sus efectos de pérdida de aislamiento a una misma frecuencia.

Sin embargo, en la frecuencia de resonancia masa-elasticidad-masa (f_r) del tabique, el aislamiento del tabique de doble hoja no es mejor que para el tabique sencillo de la misma masa. Hay que vigilar especialmente que la frecuencia de resonancia quede por debajo de las frecuencias de interés (por debajo de los 100 hz).

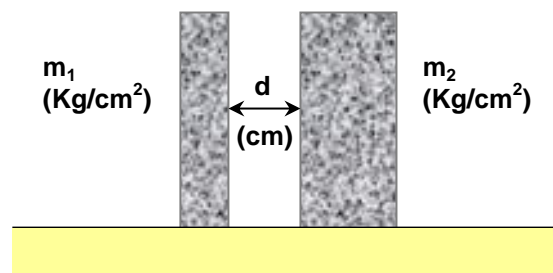


Figura 3.8. Elementos separadores de doble.

$$f_r = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \cdot \frac{1}{d}}$$

Mediante esta expresión se puede obtener un valor aproximado de la frecuencia de resonancia para un tabique de doble hoja como el descrito en la figura.

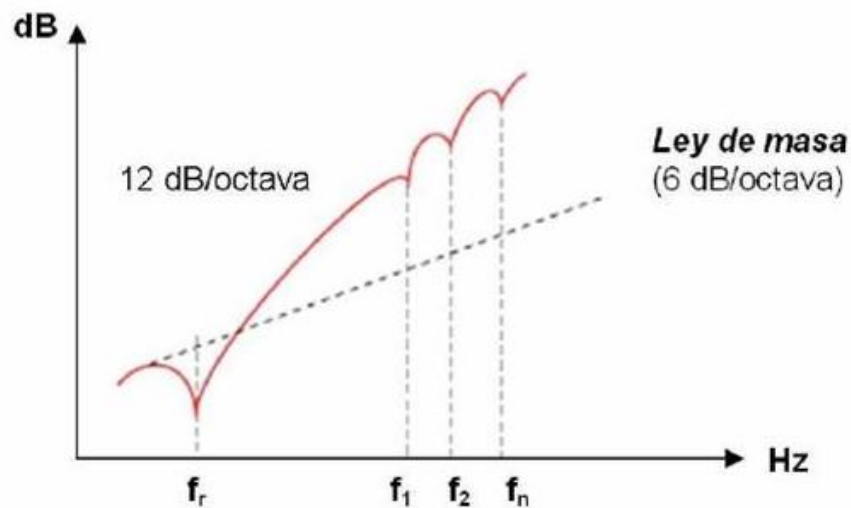


Gráfico 3.11. Aislamiento de una pared doble en función de la frecuencia.

3.4.6 Medidas en laboratorio y en campo.

Cuando se realiza una medida del aislamiento acústico se pueden distinguir dos ámbitos de aplicación:

- Las **medidas de laboratorio**, las cuales son útiles para describir el comportamiento acústico de los diversos materiales que se emplean habitualmente en la edificación o para el estudio del comportamiento de nuevas soluciones constructivas desarrolladas. Las medidas en estos casos, se realizan en unos laboratorios especialmente acondicionados para evitar la aparición de ruidos parásitos o transmisiones del sonido no deseadas. Los requerimientos para la validación de las medidas de laboratorio son los más exigentes.
- Por otro lado, nos encontramos las **medidas de campo**, o lo que es lo mismo, el estudio del comportamiento del material una vez montado en la edificación. A estas medidas se las denomina como, medidas “in situ”. El comportamiento del material instalado difiere siempre del comportamiento medido en el laboratorio, ya que el material no se encuentra aislado, sino que forma parte de la estructura de la edificación, constituida por diversos materiales, donde además, se originan pérdidas indirectas del aislamiento por transmisión por flancos o por “pérdidas” acústicas en habitaciones adyacentes. En este ámbito de aplicación los requisitos de validación son menos exigentes que en el laboratorio pero se puede decir que es más difícil la validación de las medidas ya que nos encontramos en unos recintos normalmente sometidos a ruido parásito de diversa índole lejos del ambiente controlado del laboratorio.



3.5. Materiales acústicos.

Según donde queramos colocar el aislamiento acústico, ya sea en paredes, techos o suelos, hay distintos materiales especiales que amortiguan el sonido, dificultando al máximo su propagación. Estos materiales **evitan que entren tanto los sonidos desde el exterior como que el sonido del interior de la sala aislada se escuche en el exterior.**

Existen sistemas de aislamiento acústico para altas, medias y bajas frecuencias, tanto para paredes como para techos y suelos.

El aislamiento acústico permite insonorizar una sala de forma que no le lleguen sonidos del tráfico, ruidos, golpes, voces o música desde el exterior. Es útil en cualquier recinto para trabajar con tranquilidad sin molestias, o para eliminar incómodos sonidos procedentes de tuberías, ascensores o maquinaria en general.

La elección de los materiales más adecuados a utilizar como revestimientos es esencial para la obtención de un buen diseño acústico de un recinto.

Dependiendo a que se destinen los espacios a diseñar, resulta necesario potenciar la aparición de primeras reflexiones, conseguir una buena difusión del sonido o por el contrario conseguir la absorción del sonido. Todos los materiales absorben la energía sonora en mayor o menor medida. En todos los casos, **una parte de la energía sonora que incide sobre el material se transforma en calor** y se restituye el resto.

Así pues, podríamos clasificar los materiales acústicos según los efectos que producen sobre la energía sonora:

a) Absorbentes, que son los que actúan sobre la componente del sonido reflejado:

- Porosos
- Reflexivos
- Resonadores
- Mixtos

b) Aislantes, que son los que disminuyen la energía sonora:

- Paneles multicapa



- Membrana acústica
- Láminas anti-impacto
- Placas de fibras minerales
- Antivibratorios
- Pinturas absorbentes

Pasamos a ver un poco más en detalle cada uno de estos materiales:

Materiales acústicos absorbentes:

- **Materiales fibrosos y materiales con poros abiertos:** Estos materiales presentan una multitud de pequeñas cámaras de aire que comunican entre sí. Las ondas sonoras pueden penetrar fácilmente y propagarse en estos intersticios. El aire contenido en el material es puesto en movimiento. Entonces una parte de la energía acústica se transforma en calor por el frotamiento del aire sobre las partes sólidas. La absorción por los materiales fibrosos es más alta para las frecuencias agudas que para las frecuencias bajas. La absorción para las frecuencias agudas es prácticamente independiente del espesor del material. Mientras que la absorción para las frecuencias bajas aumenta cuando aumenta el espesor.
- **Materiales reflexivos (membranas):** Las frecuencias absorbidas son tanto más graves cuanto más pesado y grueso sea el tablero y cuanto mayor sea la distancia al muro. El campo de absorción de un tablero reflexivo aumenta situando detrás una manta fibrosa o porosa, encolada o no sobre el tablero.
- **Resonadores:** Como su propio nombre indica, producen la absorción de energía acústica mediante un proceso de resonancia. El movimiento resonante de una parte del sistema extrae energía del campo acústico, de manera selectiva y preferente, en una banda de frecuencias determinada. Pueden utilizarse de forma independiente, o bien, como complemento a los materiales absorbentes. Se presentan en forma de placas con una serie de perforaciones en su superficie. Los resonadores presentan elevados valores de absorción acústica en un estrecho rango de frecuencias, por lo que se emplean cuando se desea corregir la absorción acústica de un recinto a dichas frecuencias. En el caso de rellenar la cavidad con materiales absorbentes porosos pierden parte de su eficacia a su frecuencia de diseño ampliándose el rango de eficacia.
- **Mixtos:** Los materiales anteriores se pueden combinar para absorber varias frecuencias a la vez, ya que las fibras principalmente absorben las frecuencias



agudas, mientras que las membranas absorben las frecuencias graves y los resonadores las frecuencias medias.

Materiales aislantes acústicos:

La **función** de los materiales aislantes acústicos es **reflejar la mayor parte de la energía que reciben**. Rinden mejor cuanto más pesados, flexibles y continuos son. Se utilizan para atenuar el paso del ruido entre ambientes distintos en suelos, paredes y techos

Los materiales usados generalmente en la construcción, como el hormigón, terrazo, acero, etc. son lo suficientemente rígidos y no porosos como para ser buenos aislantes.

También actúan como un **gran y eficaz aislante acústico**, las cámaras de aire (un espacio de aire hermético) entre paredes. Si se agrega, además, material absorbente en el espacio entre los tabiques (por ejemplo, celulosa, lana de roca o lana de vidrio), el aislamiento mejora todavía más. Para un efectivo aislamiento acústico, también es importante la densidad del material absorbente instalado en la cámara. El caucho y los elastómeros son materiales capaces de amortiguar el sonido.

Materiales aislantes más usuales:

- **Paneles multicapa:** Son productos diseñados específicamente para el aislamiento acústico a ruido aéreo. Están compuestos por Membranas Acústicas y materiales absorbentes de distintos rendimientos. Se usan indistintamente para el aislamiento de muros y techos tanto en vivienda como en locales comerciales.
- **Membrana acústica:** Son láminas de asfalto modificadas para conseguir un mayor rendimiento acústico. Su gran densidad y plasticidad le permiten actuar como sustituto de las planchas de plomo, cuyo uso está prohibido actualmente, permitiendo una gran atenuación del ruido de baja frecuencia producido por la resonancia entre paneles de yeso laminar.
- **Láminas anti-impacto:** Láminas flexibles de polietileno reticulado no espumado. Se utilizan sobre el forjado, antes de verter la solera o recredido de mortero, para atenuar el ruido de impacto en viviendas, hospitales, hoteles y en general en todo tipo de edificio.



- **Placas de fibras minerales:** Se utilizan como paneles absorbentes en cámaras de aire y trasdosados. Destacan la lana de roca, lana de vidrio y fibras de amianto.
- **Antivibratorios:** Productos para reducción de las vibraciones de máquinas, cerramientos, etc.
- **Pinturas absorbentes:** De colorido variado tienen una eficacia débil y sobre todo en los agudos.



Capítulo 4

Documento Básico HR

El objetivo y las exigencias de este documento básico vienen recogidos en el artículo 14 de la parte I del Código Técnico de la Edificación.

Artículo 14. Exigencias básicas de protección frente al ruido (HR)

El objetivo del requisito básico “Protección frente el ruido” consiste en limitar, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda producir a los usuarios como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán y mantendrán de tal forma que los elementos constructivos que conforman sus recintos tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo, del ruido de impactos y del ruido y vibraciones de las instalaciones propias del edificio, y para limitar el ruido reverberante de los recintos.

El Documento Básico “DB HR Protección frente al ruido” especifica parámetros objetivos y sistemas de verificación cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de protección frente al ruido.

Consta de cuatro secciones definidas como: protección de los edificios frente al ruido aéreo (HR1), protección de los edificios frente a ruidos de impactos (HR2), acondicionamiento acústico (HR3) y protección contra el ruido de las instalaciones (HR4). El documento cuantifica los niveles de aislamiento que se consideran adecuados para los edificios.

Para poder adoptar la solución adecuada se establece un método predictivo de cálculo que permite valorar en fase de proyecto los niveles de aislamiento. Una herramienta informática facilita los cálculos considerablemente.

Se aportan además un conjunto de soluciones que se considera cumple las exigencias establecidas.



El ámbito de aplicación está restringido a los edificios de nueva construcción y rehabilitación de edificios existentes con uso: administrativo (A), docente (D), residencial (R), de reunión (RE) y sanitario (S).

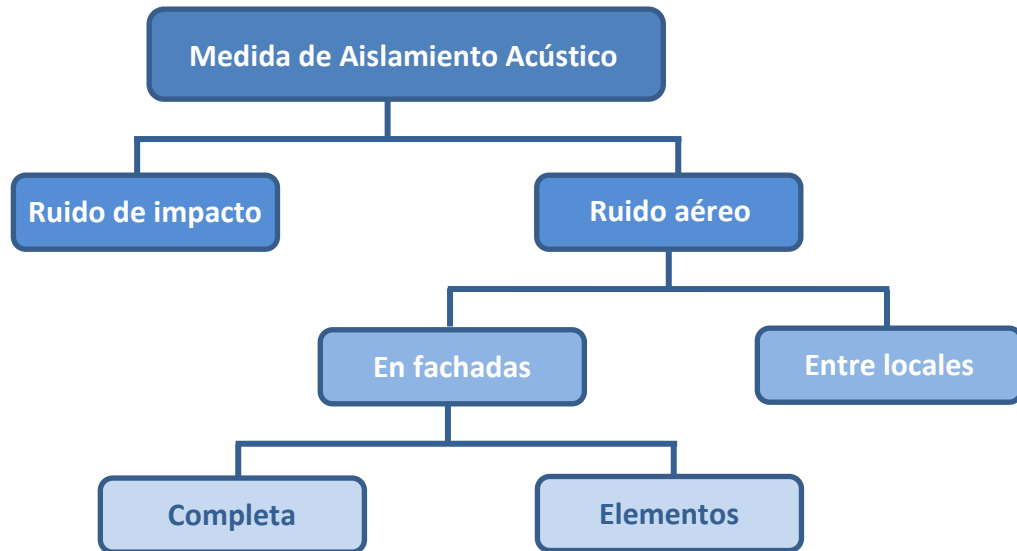


Figura 4.1. Alternativas para medir el aislamiento acústico en función de la vía de transmisión sonora.

4.1. Conformidad con las exigencias.

La conformidad del edificio terminado con las exigencias establecidas para los distintos requisitos debe conseguirse previamente a la **concesión de los permisos de habitabilidad** una vez concluido el edificio en caso de nueva construcción, y en edificios rehabilitados antes de iniciar el nuevo uso.

Con el fin de poder obtener la conformidad sin problemas, es necesario la verificación de los elementos constructivos, equipos e instalaciones y la ejecución de las obras. Se plantean dos niveles de verificación para una evaluación favorable de la conformidad:

1. A nivel de proyecto verificando los productos y diseño.
2. A nivel de obra terminada a través de ensayos in situ.

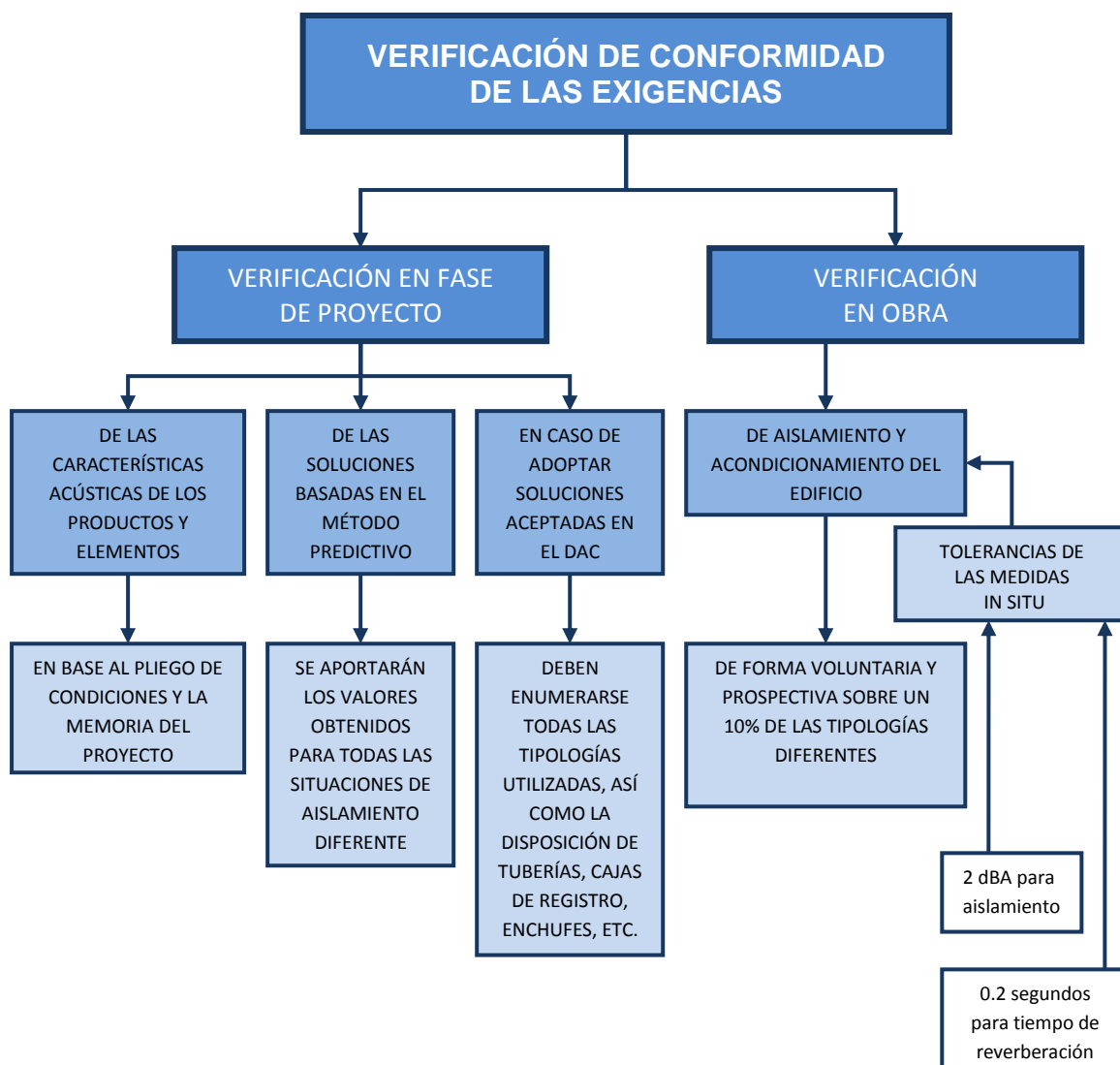


Figura 4.2. Consideraciones en el proceso de verificación.

4.2. Tipos de recinto.

El Código Técnico de la Edificación clasifica los recintos en: habitables, no habitables, de instalaciones, de actividad y ruidosos. A los recintos clasificados como ruidosos, el CTE le otorga esta clasificación a recintos de uso generalmente industrial con niveles de presión sonora superiores a 80 dBA. Por otra parte, los límites establecidos para los recintos de actividad o de instalaciones son los mismos, a pesar de que pueden existir recintos de actividad especialmente ruidosos.

A continuación se definen los diversos recintos contemplados:

- **Recinto de actividad:** son aquellos recintos o zonas del edificio cuyo uso sea diferente al del resto del edificio y sean susceptibles de generar un nivel de ruido superior al generado en el edificio. Los recintos de actividad son



considerados como recintos donde se realiza una actividad distinta a la realizada en el resto de los recintos del edificio en el que se encuentra integrado, siempre que el nivel de presión sonora sea mayor de 70 dBA y no sea un recinto ruidoso.

- **Recinto emisor:** zona del edificio o de su exterior donde se considera que se genera el ruido.
- **Recinto habitable:** son considerados como recintos de interior destinados al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Los recintos habitables se clasifican en protegidos y en no protegidos. En la siguiente tabla se muestran un desglose de los distintos tipos de recinto habitable en función de si son protegidos o no.

<p>Habitables protegidos</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Habitaciones y estancias en edificios residenciales (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) 2. Aulas, bibliotecas y despachos en edificios de uso docente 3. Quirófanos, habitaciones y salas de espera, en edificios de uso sanitario 4. Oficinas, despachos y salas de reunión, en edificios de uso administrativo.
<p>Habitables no protegidos</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cocinas, baños, aseos, pasillos y distribuidores en edificios de cualquier uso. 2. Cualquier otro

Tabla 4.1. Tipos de recintos habitables.

- **Recintos no habitables:** son considerados como recintos de interior que pueden ser usados por personas de forma ocasionalmente y durante un tiempo de estancia corto (garajes, trasteros, cámaras técnicas, desvanes no acondicionados y sus zonas comunes).
- **Recinto receptor:** recinto al que se transmite la energía acústica generada en el recinto emisor.
- **Recintos de instalaciones** son considerados como recintos que contienen equipos de instalaciones tanto individuales como colectivas del edificio,



susceptibles de alterar las condiciones ambientales de dicho recinto. El hueco de los ascensores y los conductos de extracción de humos de los garajes se considerarán como recintos de instalaciones.

4.2.1. Tipos de unidades de uso.

Los espacios del edificio se clasifican en función del uso que reciben. Se establece el concepto de misma unidad de uso cuando los usuarios están vinculados entre sí, bien por pertenecer a la misma unidad familiar, empresarial o para aquellos grupos/colectivos que realizan la misma actividad. Se consideran la misma unidad de uso las siguientes:

- En edificios de viviendas: cada una de las viviendas.
- En hospitales, hoteles, residencias, etc.: cada habitación con anexos.
- En edificios docentes: cada aula, laboratorio, etc.

Los espacios del edificio que no se puedan incluir en las unidades de uso definidas en el párrafo anterior, se consideran pertenecientes a distintas unidades de uso.

Se considerará zona común a aquella que pertenece o da servicio a varias unidades de uso, sean habitables o no. La zona común es considerada como otra unidad de uso.

- **Recinto de distinta unidad de uso:** son aquellos recintos en los cuales su uso corresponde a actividades iguales o diferentes pero que sus usuarios no estén relacionados por pertenecer a una misma jerarquía o existir entre ellos una relación familiar o afectiva.
- **Recintos de misma unidad de uso:** son aquellos recintos cuyos usuarios están relacionados por pertenecer a una misma jerarquía o existir entre ellos una relación familiar o afectiva.

4.3. Método de predicción del aislamiento acústico a ruido aéreo de particiones interiores del edificio.

La predicción del aislamiento acústico que proporcionan los elementos del edificio se determina a partir de las **propiedades acústicas** de los productos y elementos constructivos cuyas características son obtenidas mediciones de laboratorio.



Para determinar la contribución de las características geométricas y del sistema constructivo al aislamiento resultante se tendrán en cuenta las transmisiones acústicas indirectas por todos los caminos secundarios posibles, además de las transmisiones directas a través de los elementos constructivos compartidos entre recintos. Los principios y **métodos utilizados para la predicción** serán los recogidos en las normas **UNE EN 12354-1 y UNE EN 12354-3**.

La transmisión sonora desde el exterior del edificio a un recinto del interior, o la transmisión entre dos recintos interiores se considera que tiene lugar por caminos directos, y también por caminos indirectos (transmisión por flancos), superponiéndose la contribución de cada uno de los caminos de transmisión. Se consideran **transmisiones directas** las que tienen lugar a través del elemento separador por radiación de éste, así como, la transmisión por vía aérea directa a través de rendijas, dispositivos de aire acondicionado, respiradores, etc. Se consideran **transmisiones indirectas** todas las demás, distinguiéndose entre las transmitidas por vía aérea a través de techos suspendidos, sistemas de ventilación, etc., y las transmitidas por vía estructural en forma de vibración (ruido estructural) a través de forjados, suelos, pilares, etc.

4.4. Parámetros de medida utilizados en el CTE.

La definición de los parámetros de medida del aislamiento acústico resulta muchas veces una **dificultad añadida para el técnico** que debe proyectar, controlar o verificar los distintos elementos separadores. En este apartado se pretende definir escuetamente los parámetros de medida de todos los valores límite que han sido recogidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE). Como criterio general se ha tomado para un elemento separador el valor de aislamiento estandarizado (D_n), excepto para la medida de aislamiento de particiones interiores de la misma unidad de uso, donde el parámetro de medida considerado es el Índice de Reducción Sonora Aparente (R_A) ponderado con la curva A. Respecto al aislamiento a ruido de impactos se ha definido igualmente el nivel de presión de ruido de impactos estandarizado (L_n).

Probablemente la mayor dificultad a la hora de trabajar con estos parámetros estribe en que según donde se encuentra el elemento separador se establece un procedimiento de medida concreto que es trasladado en forma de **subíndices** al símbolo que define el parámetro, creando un cierto grado de confusión.



4.4.1. Aislamiento acústico de elementos.

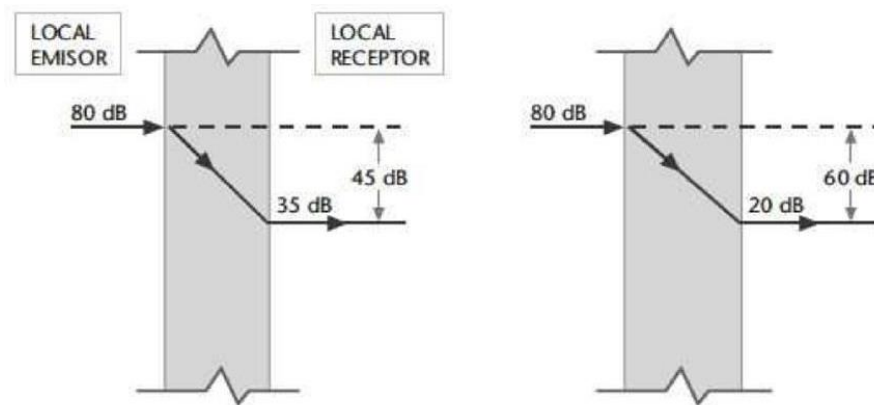


Figura 4.3. Aislamiento acústico específico de un elemento constructivo.

1. Índice global de reducción acústica aparente ponderado A.

$$R'_A = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ar,i} - R'_i)/10}$$

Siendo,

$L_{Ar,i}$ valor del espectro de ruido rosa normalizado ponderado A, en la banda de frecuencia i

R' índice de reducción acústica aparente: es el aislamiento acústico de una partición vertical obtenida en laboratorio.

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{S}{A} \quad (dB)$$

S superficie de la partición vertical que divide la sala emisora de la receptora en el laboratorio.

A área de absorción de la sala receptora del laboratorio.



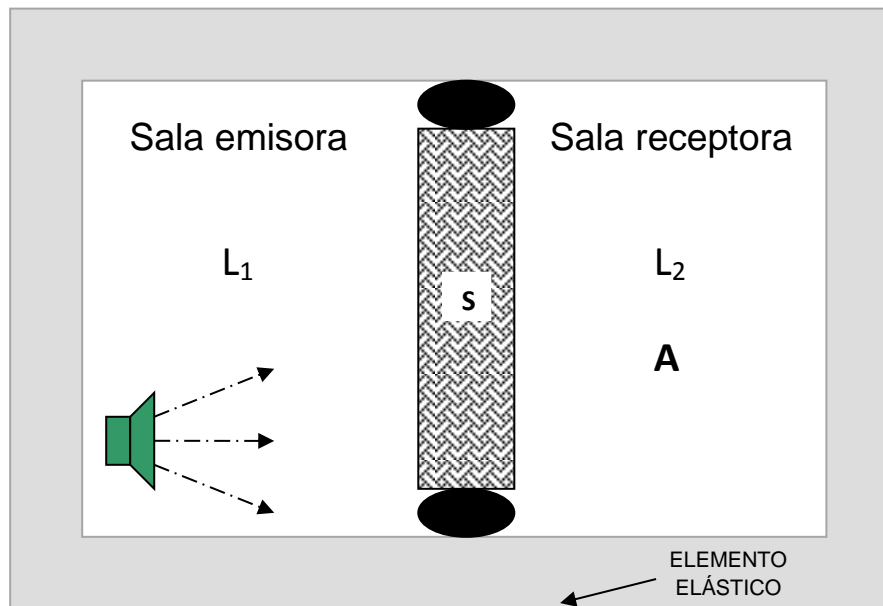


Figura 4.4. Disposición de los elementos individuales en el laboratorio.

2. **Diferencia de niveles estandarizada ponderada A.** Es la variación global en dBA de la diferencia de niveles estandarizada entre recintos interiores para ruido rosa.

$$D_{nT,A} = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ar,i} - D_{nT,i})/10}$$

Siendo,

$D_{nT,i}$ diferencia de niveles estandarizada entre recintos interiores para la frecuencia i

$$D_{nT,i} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{0.5}$$

T tiempo de reverberación del recinto receptor

3. **Diferencia de niveles estandarizada ponderada A en fachadas para ruido de automóviles**

$$D_{2m, nT, Ar} = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ar,i} - D_{2m, nT,i})/10}$$



Siendo,

$D_{2m,nT,i}$ diferencia de niveles estandarizada ponderada A medida a 2 metros de la fachada para la banda de frecuencia i.

$$D_{2m,nT,Atr} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \frac{T}{0.5}$$

$L_{Atr,i}$ valor en frecuencia del espectro normalizado del ruido de automóviles ponderado A, para la banda de frecuencia i.

4. Nivel global de presión de ruido de impactos estandarizada ($L'_{nT,w}$). Se obtiene aplicando la norma UNE EN ISO 717-2 sobre el espectro del nivel de ruido de impacto estandarizado (L'_{nT}).

$$L_{nT} = L - 10 \log \frac{T}{0.5}$$

5. Índice ruido día (L_d). Es el índice de ruido asociado a la molestia durante el día y definido como nivel sonoro medio a largo plazo, ponderado A, determinado a lo largo de todos los periodos día de un año. Esta definición se encuentra en el Real Decreto 1513/2005 por el que se desarrolla la Ley del Ruido 37/2003.

6. Mejora del índice de reducción acústica (ΔR). Es la diferencia del índice de reducción acústica entre un elemento estructural básico con una capa adicional (un trasdosado con lana de roca, techo suspendido, suelo flotante, etc.) y el elemento estructural básico sin esta capa.

7. Diferencia de nivel normalizada de un elemento pequeño ($D_{n,e}$). Es la diferencia de nivel de presión acústica producida entre dos recintos con una fuente activa en uno de ellos, y debiéndose la transmisión acústica solo a un elemento constructivo pequeño (dispositivos de ventilación, conductos para cableado eléctrico, etc.). $D_{n,e}$ se normaliza a un área de absorción acústica equivalente de referencia, $A_0=10 \text{ m}^2$.

$$D_{n,e} = L_1 - L_2 - 10 \cdot \log \frac{A}{A_0}$$



8. Diferencia de nivel normalizada para transmisión aérea indirecta $D_{n,s}$. Es la diferencia de nivel de presión acústica producida entre dos recintos con una fuente activa en uno de ellos. Se los considera que la transmisión se produce solo a través de un camino específico entre recintos (pasillos, sistemas de ventilación, etc.). $D_{n,s}$ se normaliza a un área de absorción acústica equivalente de referencia, $A_0=10 \text{ m}^2$.

$$D_{n,s} = L_1 - L_2 - 10 \cdot \log \frac{A}{A_0}$$

9. Diferencia de nivel normalizada de flancos $D_{n,f}$. Es la diferencia de nivel de presión acústica producida entre dos recintos con una fuente activa en uno de ellos. Se los considera que la transmisión se produce a través de un único elemento de flanco entre los dos recintos (techos suspendidos, suelos continuos, fachadas, etc.). $D_{n,f}$ se normaliza a un área de absorción acústica equivalente de referencia, $A_0=10 \text{ m}^2$.

$$D_{n,f} = L_1 - L_2 - 10 \cdot \log \frac{A}{A_0}$$

10. Índice de reducción vibracional K_{ij} . Esta magnitud está relacionada con la transmisión de potencia vibratoria a través de una unión entre elementos estructurales, normalizada con objeto de hacerla una magnitud invariante. Se determina normalizando la diferencia de niveles de velocidad promediados en todas direcciones sobre la unión, con la longitud de la misma y la longitud de absorción equivalente, si fuera relevante, de ambos elementos según la siguiente ecuación:

$$K_{ij} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \cdot \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_j \cdot a_i}} \quad (dB)$$

Donde,

$D_{v,ij}$ es la diferencia del nivel de velocidad entre los elementos i y j, cuando el elemento i es excitado, en decibelios.

$D_{v,ji}$ es la diferencia del nivel de velocidad entre los elementos j y i, cuando el elemento j es excitado, en decibelios.

l_{ij} es la longitud común de la unión entre los elementos i y j, en metros.

a_i es la longitud de absorción equivalente del elemento i, en metros.



a_j es la longitud de absorción equivalente del elemento j , en metros.

La longitud de absorción equivalente viene dada por:

$$a = \frac{2.2 \cdot \pi^2 \cdot S}{c_0 \cdot T_s} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

Donde,

T_s es el tiempo de reverberación estructural del elemento i o j , en segundos.

S es el área del elemento i o j , en metros cuadrados.

f es la frecuencia central de la banda, en Hz.

f_{ref} es la frecuencia de referencia, $f_{ref}=1000$ Hz.

c_0 es la velocidad del sonido en el aire, en metros por segundo.

4.4.2. Aislamiento acústico medido in situ entre recintos.

1. **Índice de reducción acústica aparente (R').** Se determina a través de medidas in situ y se define como:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{S_s}{A} \quad (dB)$$

Donde,

L_1 es el nivel de presión acústica medido en el recinto emisor en decibelios con una fuente sonora activa en el recinto.

L_2 es el nivel de presión acústica medido en el recinto receptor en decibelios con una fuente sonora activa en el recinto emisor.

S_s es el área del elemento separador en m^2 .

A es el área de absorción acústica equivalente del recinto receptor en m^2 .

Se obtiene a partir de la ecuación de Sabine: $A = 0.163 \frac{V}{T}$



V volumen del recinto receptor en m³.

T tiempo de reverberación del recinto receptor en segundos.

2. Índice ponderado de reducción acústica (R_w). Se obtiene, aplicando lo establecido en la norma UNE EN 717-1 sobre el espectro del índice de reducción acústica aparente (R'), obteniéndose un valor numérico global en decibelios.

3. Diferencia de nivel estandarizada (D_{nT}). Estandariza el aislamiento de un elemento o un sistema constructivo a un tiempo de reverberación de 0.5 segundos. Se mide in situ y se define como:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} \quad (dB)$$

Donde,

T₀ es el tiempo de reverberación de referencia igual a 0.5 segundos

4. Diferencia de nivel normalizada (D_n). Normaliza el aislamiento de un elemento o un sistema constructivo referido a un área de absorción acústica de 10 m². Su expresión se puede obtener a partir de D_{nT} de la siguiente forma:

Ecuación de Sabine $A = 0.163 \frac{V}{T} \rightarrow T = 0.163 \frac{V}{A}$

Sustituyendo en

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} \rightarrow D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{0.163 \frac{V}{A}}{0.163 \frac{V}{A_0}}$$

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{A_0}{A} \rightarrow D_n = L_1 - L_2 - 10 \cdot \log \frac{A}{A_0}$$

Como se puede apreciar el nivel normalizado se obtiene del estandarizado, la diferencia está en la forma de expresarlo y en la referencia que es distinta, en una caso es tiempo de reverberación (0.5 s.) y en el otro área de absorción (10 m²).



Relación entre las magnitudes anteriores:

$$D_n = R' + 10 \cdot \log \frac{10}{S_s} \qquad D_{nT} = R' + 10 \cdot \log \frac{0.32 \times V}{S_s}$$

4.4.3. Modelos de cálculo.

La potencia acústica en el recinto receptor es debida al sonido radiado por los elementos separadores estructurales y los elementos estructurales de flancos en ese recinto y por la transmisión aérea directa e indirecta. El factor de transmisión total se puede dividir en diferentes factores de transmisión relacionados con cada elemento del recinto receptor y con los elementos y sistemas involucrados en la transmisión aérea directa e indirecta.

$$R' = -10 \cdot \log \frac{W_2}{W_1}$$

$$R' = -10 \cdot \log \tau' \qquad \tau' = \tau_d + \sum_{f=1}^n \tau_f + \sum_{e=1}^m \tau_e + \sum_{s=1}^k \tau_s$$

Donde,

W_1 potencia acústica incidente sobre la parte común del elemento separador.

W_2 potencia acústica radiada en el recinto receptor.

τ' es el cociente entre la potencia acústica total radiada en el recinto receptor y la potencia acústica incidente sobre la parte común del elemento separador.

τ_d es el cociente entre la potencia radiada el elemento separador común d de los dos recintos y la energía incidente sobre dicho elemento separador.

τ_f es el cociente entre la potencia acústica radiada por un elemento de flanco f al recinto receptor y la potencia acústica incidente sobre el elemento separador común.



τ_e es el cociente entre la potencia acústica radiada en el recinto receptor por un elemento instalado e en el elemento separador debido a la transmisión aérea directa del sonido incidente sobre este elemento y la potencia acústica incidente sobre el elemento separador común.

τ_s es el cociente entre la potencia acústica radiada en el recinto receptor por un sistema s debido a la transmisión aérea indirecta sobre el sistema de transmisión y la potencia acústica incidente sobre el elemento separador común.

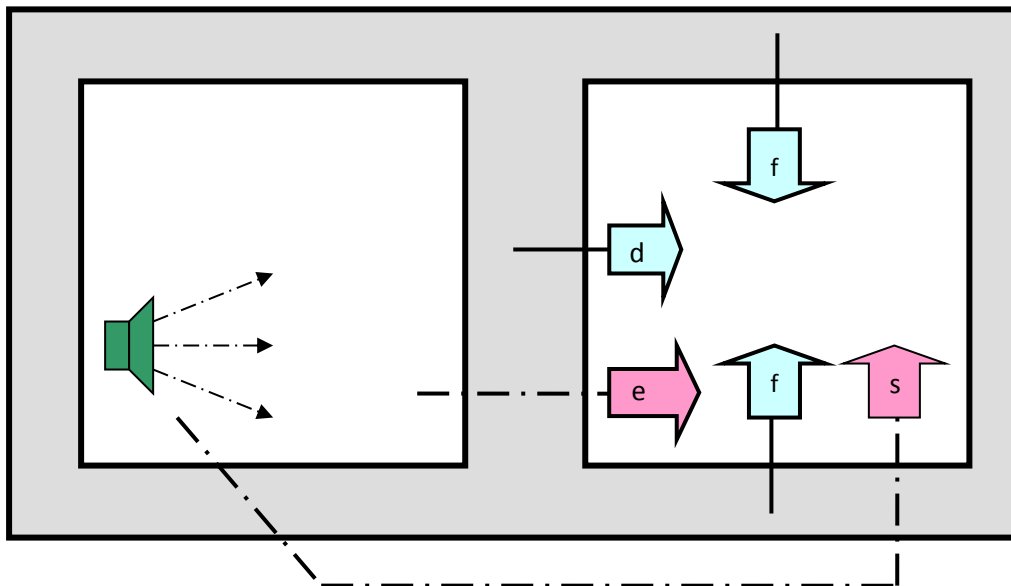


Figura 4.5. Elementos radiantes de energía en el recinto receptor.

Donde,

d radiada por el elemento separador.

f radiada por flancos, ambos por vía estructural.

e radiada por un elemento instalado en el elemento separador por vía aérea.

s radiada por un sistema, pasillo etc. por vía aérea.

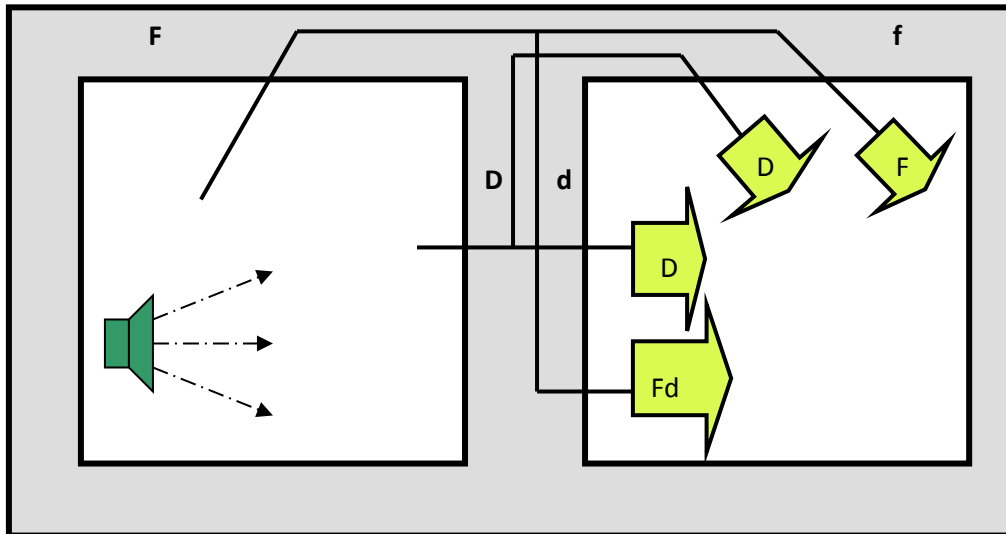


Figura 4.6. Distintos caminos de transmisión por vía estructural.

El **sonido radiado por un elemento por vía estructural** se puede considerar como la suma de la transmisión del sonido estructural a través de varios caminos. Se aprecia el ruido radiado al recinto receptor por el elemento separador común y por flancos, así como los diversos caminos de transmisión posible.

El **factor de transmisión para el elemento separador d** está constituido por las contribuciones de la transmisión directa (D) y n transmisiones de flanco (F).

$$\tau_d = \tau_{Dd} + \sum_{F=1}^n \tau_{Fd}$$

El **factor de transmisión para cada elemento de flanco f** en el recinto receptor está formado por las contribuciones de las transmisiones por flancos.

$$\tau_f = \sum_{F=1}^n \tau_{Df} + \sum_{F=1}^n \tau_{Ff}$$

Los factores de transmisión de estos caminos están relacionados con el índice de reducción acústica (R). En la tabla siguiente se recogen las expresiones que permiten obtener los factores de transmisión de cada uno de los elementos que forman el sistema constructivo.



Factor de transmisión para el elemento separador	$\tau_d = 10^{-Rd/10}$
Factor de transmisión por flancos	$\tau_f = 10^{-Rf/10}$
Factor de transmisión de un elemento instalado en el elemento separador	$\tau_e = \frac{A_0}{S_s} 10^{-Dn,e/10}$
Factor de transmisión para un sistema	$\tau_s = \frac{A_0}{S_s} 10^{-Dn,s/10}$

Tabla 4.2. Expresiones de los factores de transmisión en función de R y Dn.

Existen **dos modelos de cálculo**, uno detallado que tiene en cuenta la transmisión por vía estructural y la transmisión aérea directa e indirecta ($\tau_d, \tau_f, \tau_e, \tau_s$) y calcula las características de aislamiento en bandas de frecuencia, y otro simplificado que calcula las características de aislamiento como un índice global basado en los índices globales de los elementos involucrados y considerándose solamente la transmisión por vía estructural (d) y (f).

A continuación se explicará el procedimiento de cálculo del modelo simplificado que aporta una predicción bastante buena en la mayoría de las tipologías constructivas.

Procedimiento de cálculo del modelo simplificado.

La versión simplificada del modelo de cálculo predice el índice ponderado de reducción acústica (R_w) del sistema constructivo a partir de los índices de reducción ponderados aparentes de los elementos involucrados.

La aplicación del modelo **simplificado se restringe a transmisiones directas y por flancos para elementos fundamentalmente homogéneos**. La influencia del amortiguamiento estructural de los elementos se tiene en cuenta en promedio, despreciando las particularidades de cada situación. Cada elemento de flanco debería ser esencialmente el mismo por los lados de emisión y recepción.



La ecuación que define el **índice ponderado de reducción acústica** es:

$$R_w = -10 \cdot \log \left[10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{f=1}^n 10^{-R_{Df,w}/10} + \sum_{F=1}^n 10^{-R_{Fd,w}/10} \right]$$

Donde,

$R_{Dd,w}$ es el índice ponderado de reducción acústica para la transmisión directa, en decibelios.

$R_{Ff,w}$ es el índice ponderado de reducción acústica por flancos para el camino de transmisión F_f , en decibelios.

$R_{Df,w}$ es el índice ponderado de reducción acústica por flancos para el camino de transmisión D_f , en decibelios.

$R_{Fd,w}$ es el índice ponderado de reducción acústica por flancos para el camino de transmisión F_d , en decibelios.

n es el número de elementos de flanco a considerar.

El **índice ponderado de reducción acústica para la transmisión directa** se determina a partir del valor de entrada del elemento separador por medio de:

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w}$$

Donde,

$R_{s,w}$ es el índice ponderado de reducción acústica del elemento separador, en decibelios.

$\Delta R_{Dd,w}$ es la mejora del índice ponderado de reducción acústica del elemento separador por recubrimiento adicional del recinto emisor y/o receptor, en decibelios.

Los **índices ponderados de reducción acústica por flancos**, se puede determinar a partir de los datos de entrada según lo siguiente:



$$R_{Ff,w} = \frac{R_{F,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Ff,w} + K_{Ff} + 10 \cdot \log \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f}$$

$$R_{Fd,w} = \frac{R_{F,w} + R_{s,w}}{2} + \Delta R_{Fd,w} + K_{Fd} + 10 \cdot \log \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f}$$

$$R_{Df,w} = \frac{R_{s,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Df,w} + K_{Df} + 10 \cdot \log \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f}$$

Donde,

$R_{F,w}$ es el índice ponderado de reducción acústica del elemento de flanco F en el recinto emisor, en decibelios.

$R_{f,w}$ es el índice ponderado de reducción acústica del elemento de flanco f en el recinto receptor, en decibelios.

$\Delta R_{Ff,w}$ es la mejora total del índice ponderado de reducción acústica por el recubrimiento del elemento de flanco en el lado de emisión y/o en el lado de recepción, en decibelios.

$\Delta R_{Fd,w}$ es la mejora total del índice ponderado de reducción acústica por el recubrimiento del elemento de flanco en el lado de emisión y/o del elemento separador en el lado de recepción, en decibelios.

$\Delta R_{Df,w}$ es la mejora total del índice ponderado de reducción acústica por el recubrimiento del elemento separador en el lado de emisión y/o del elemento de flanco en el lado de recepción, en decibelios.

K_{Ff} es el índice de reducción vibracional para el camino de transmisión F_f , en decibelios.

K_{Fd} es el índice de reducción vibracional para el camino de transmisión F_d , en decibelios.

K_{Df} es el índice de reducción vibracional para el camino de transmisión D_f , en decibelios.

S_s es el área del elemento separador en m^2 .



l_f es la longitud común de acoplo de la unión entre el elemento separador y los elementos de flanco F y f , en metros.

l_0 es la longitud de acoplo de referencia, $l_0=1\text{m}$.

La predicción obtenida por medio del modelo simplificado muestra una desviación estándar de alrededor de 2 dB, con tendencia a sobreestimar ligeramente el aislamiento. Esta falta de precisión se compensa con la facilidad de cálculo.

Ejemplo del procedimiento de cálculo del modelo simplificado.

A continuación se va a predecir el índice ponderado de reducción acústica para un elemento separador de dos recintos contiguos iguales con un volumen de 50 m^3 y dimensiones en metros según el gráfico. Los datos de entrada se muestran en la tabla siguiente.

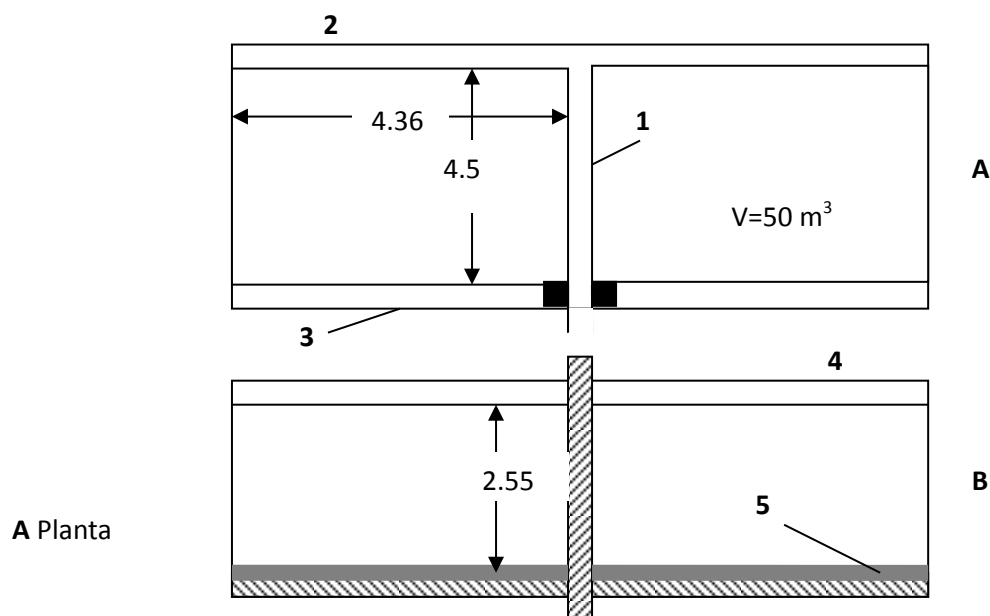


Figura 4.7. Disposición y dimensiones de los recintos.

ELEMENTOS	Dimensiones	Tipo de unión	Tipo de partición
1. Pared (elemento separador)	4.5 x 2.55= 11.5 m ²		200 mm de hormigón (460 kg/m ²)
ELEMENTOS DE FLANCO			
2. Fachada	4.36 x 2.55=11.1m ²	Rígida en T	100 mm bloques de silicato cálcico (175 kg/m ²)
3. Pared interna	4.36 x 2.55=11.1m ²	Unión en cruz con capa elástica	70 mm de bloque de yeso (67 kg/m ²)
4. Techo	4.36 x 4,5=19.6 m ²	Unión en cruz rígida	100 mm de hormigón (230 kg/m ²)
5. Suelo	4.36 x 4,5=19.6 m ²	Unión en cruz rígida	100 mm de hormigón (287 kg/m ²)
6. Conexión Flexible			

Tabla 4.3. Características de los elementos que definen el aislamiento de la pared separadora.

El procedimiento que a continuación se describe está basado en el modelo de cálculo simplificado según la norma UNE EN 121354-1 (2000).

1. En el Anexo B de la norma UNE EN 121354-1 (2000) se obtiene los índices ponderados de reducción acústica (R_w) según los diversos algoritmos de predicción de la figura.



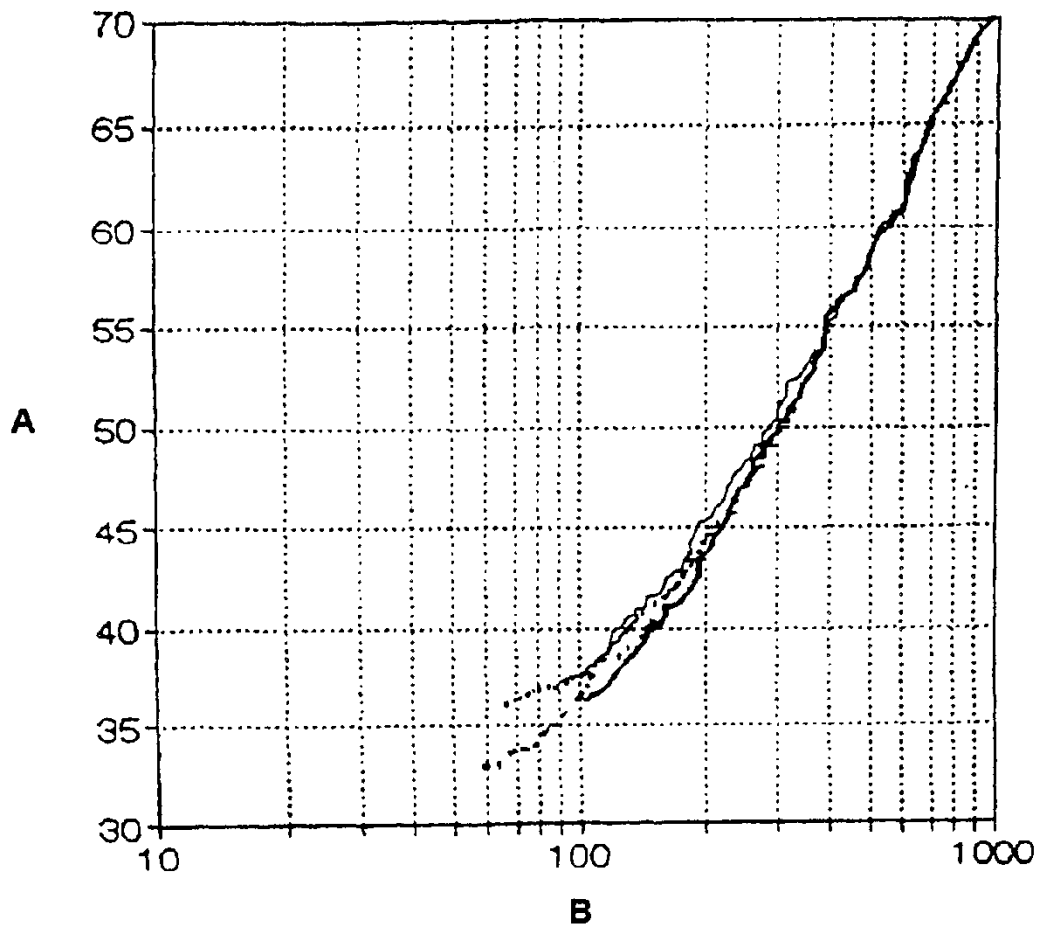


Gráfico 4.1. Índices ponderados A.

2. Se obtiene la relación de densidades superficiales entre la pared separadora y el resto de elementos que forman el sistema constructivo (m'_s/m'_f)

m'_s densidad superficial del elemento separador

m'_f densidad superficial de cada uno de los elementos restantes

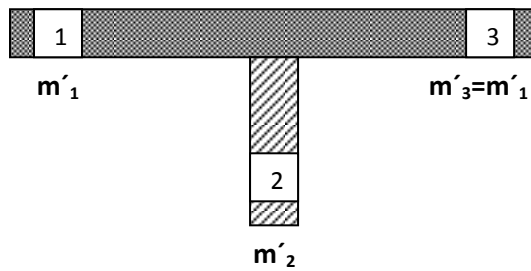
Se calcula su logaritmo:

$$M = \log \frac{m'_s}{m'_f}$$

3. En el anexo E de la norma UNE EN 121354-1 (2000) se obtienen las expresiones para la determinación de los distintos índices de reducción vibracional (K_{ij}) para uniones.



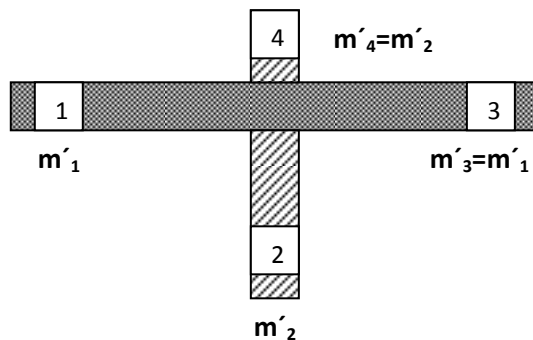
Unión en T rígida



$$K_{13}=5.7+14.1M+5.7M^2$$

$$K_{12}=K_{23}=5.7+5.7M^2$$

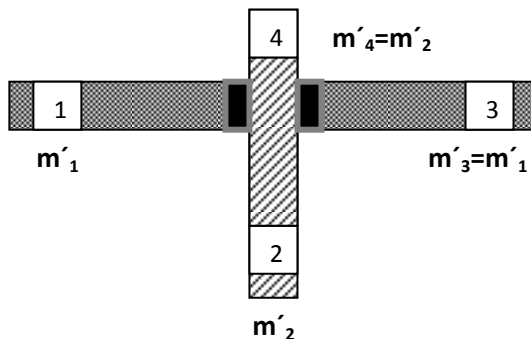
Unión en cruz rígida



$$K_{13}=8.7+17.1M+5.7M^2$$

$$K_{12}=K_{23}=8.7+5.7M^2$$

Unión en cruz con capa elástica



$$K_{13}=5.7+14.1M+5.7M^2+2\Delta$$

$$K_{12}=K_{23}=5.7+5.7M^2+\Delta$$

$$K_{24}=3.7+14.1M+5.7M^2$$

$$\Delta=10 \log(f/f_1)$$

$$f_1=125 \text{ Hz si } (E_1/t_1) \cong 100 \text{ MN/m}^3$$

4. Cálculo de los índices ponderados de reducción acústica (R_w)

Aplicando las ecuaciones, se determinan los índices ponderados de reducción acústica solo para caminos de transmisión estructurales

5. Finalmente se obtiene un valor global del índice ponderado de reducción acústica utilizando la ecuación. Todos los resultados se muestran en esta tabla.



ELEMENTO	densidad superf.	R_w	m'_g/m'_f	K_{Ff}	K_{Fd}	K_{Df}	DIMENSIONES(m)	
	$m' = \text{kg/m}^2$	Anexo B		Anexo E	Anexo E	Anexo E	L_1	L_2
Pared	460	57					4,5	2,55
Suelo F=f=1	287	49	1,60	12,44	8,94	8,94	4,5	4,36
Techo F=f=2	230	46	2,00	14,36	9,22	9,22	4,5	4,36
Fachada F=f=3	175	42	2,63	12,62	6,70	6,70	4,36	2,55
Pared interior F=f=4	67	33	6,87	33,53	15,71	15,71	4,36	2,55
RESULTADOS								
PARED		SUELO		PARED INTERIOR				
R_{Dd}	57	R_{d1}	66,00	R_{d4}	67,24			
R_{Dd} Receptor	0	R_{11}	65,51	R_{44}	73,06			
R_{Dd} Emisor	0		0,00		0,00			
R_{1d}	66,00	TECHO		FACHADA				
R_{2d}	64,78	R_{D2}	64,78	R_{d3}	62,74			
R_{3d}	62,74	R_{22}	64,43	R_{33}	61,15			
R_{4d}	67,24		0,00		0,00	R'_w	52,2	

Tabla 4.4. Resultados tabulados del ejemplo.

La predicción de aislamiento expresado como índice ponderado de reducción acústica R'_w es de 52.2 dB, suponiendo que no existen vías de transmisión aérea directa a través de rejillas, sistemas de ventilación, etc.; tanto en la pared separadora como por los flancos.

El índice ponderado de reducción acústica se puede expresar como Diferencia ponderada de nivel estandarizado:



$$D_{nT, w} = R'_w + 10 \cdot \log \frac{0.32 \times V}{S_s} = 52.2 + 10 \cdot \log \frac{0.32 \cdot 50}{11.5} = 52.2 + 1.4 = 53.6 \text{ dB}$$

$$D_{nT, w} \approx 54 \text{ dB}$$

4.5. Valores límite de aislamiento, tiempo de reverberación y ruido y vibraciones.

4.5.1. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo.

Los valores de aislamiento a ruido aéreo que se tabulan a continuación son aplicables a cualquier elemento constructivo horizontal o vertical que forma parte de un recinto habitable.

NIVELES DE AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO			
RELACIÓN ENTRE RECINTOS	COLINDANTE	TIPO DE USO	AISLAMIENTO REQUERIDO
Entre dos recintos habitables	Vertical u horizontalmente	Misma unidad de uso	>30 dBA
Entre dos recintos habitables	Vertical u horizontalmente	Distinta unidad de uso	>50 dBA
Entre un recinto habitable y otros con instalaciones del edificio	Vertical u horizontalmente		>55 dBA
Entre un recinto habitable y un recinto común del edificio	Vertical u horizontalmente		>50 dBA
Entre un recinto habitable y un recinto de actividad	Vertical u horizontalmente	Distinta unidad de uso	>60 dBA
Entre un recinto habitable y el exterior del edificio <i>(con predominio del ruido del tráfico)</i>			>30 dBA
Entre un recinto habitable y el exterior del edificio <i>(con predominio del ruido de aeronaves o ferroviario)</i>			>32 dBA

Tabla 4.5. Niveles mínimos de aislamiento a ruido aéreo.



PROTECCIÓN FRENTE A RUIDO AÉREO DE:		RECINTO HABITABLE PROTEGIDO	RECINTO HABITABLE NO PROTEGIDO				
I.- MISMA UNIDAD DE USO		$R_A > 33$ dBA	$R_A > 33$ dBA				
II.- OTRAS UNIDADES DE USO	NO COMPARTE PUERTA O VENTANA	$D_{nT,A} > 50$ dBA	$D_{nT,A} > 45$ dBA				
	COMPARTE PUERTA O VENTANA	R_A (puerta o ventana) > 30 dBA R_A (muro) > 50 dBA	R_A (puerta o ventana) > 20 dBA R_A (muro) > 50 dBA				
III.- RECINTOS DE INSTALACIÓN Y ACTIVIDAD		$D_{nT,A} > 55$ dBA	NO COMPARTE PUERTA O VENTANA	$D_{nT,A} > 45$ dBA			
			COMPARTE PUERTA O VENTANA	R_A (p/v.) > 30 dBA R_A (muro) > 50 dBA			
IV.- EXTERIOR El valor del índice de ruido día (L_d)* puede obtenerse en las administraciones competentes o mediante consulta de los mapas estratégicos de ruido. En su defecto $L_d = 60$ para áreas acústicas con predominio de suelo residencial. Para el resto de áreas se aplicará lo dispuesto en la Ley del Ruido 37/2003 y normas reglamentarias que la desarrollen. * definido en R.D. 1513/2005		SOLAMENTE RECINTOS PROTEGIDOS					
		USO DEL EDIFICIO					
		L_d dBA		Residencial y hospitalario		Cultural, Docente y Administrativo	
				DORMITORIO	ESTANCIA	ESTANCIA	ÁULA
				$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$
		L_d < 60		30	30	30	30
		60 ≤ L_d < 65		32	30	32	30
		65 ≤ L_d < 70		37	32	37	32
		70 ≤ L_d < 75		42	37	42	37
		L_d ≥ 75		47	42	47	42
Para patios de manzana, patios interiores, callejones se considerará un L_d 10 dBA menor que el índice de ruido día de la zona. Cuando predomine ruido de aeronaves el $D_{2m,nT,Atr}$ se incrementará en 4 dBA. Fachadas expuestas a varios valores de L_d (esquinas), se toma el mayor de los niveles.							



RECINTOS HABITABLES (PROTEGIDOS Y NO PROTEGIDOS)		
V.- CON OTROS EDIFICIOS	Para cada uno de los cerramientos de una medianería entre dos edificios	$D_{2m,nT,Atr} > 40 \text{ dBA}$
	o alternativamente para el conjunto de los dos cerramientos	$D_{nT,A} > 50 \text{ dBA}$

Tabla 4.6. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo según el DB HR protección frente al ruido.

Para una mejor interpretación de la tabla anterior se aporta la siguiente figura descriptiva de los elementos de separación tal y como los define el Código Técnico de la Edificación (CTE). El concepto de medianería se aplicará exclusivamente a los elementos separadores entre edificios.

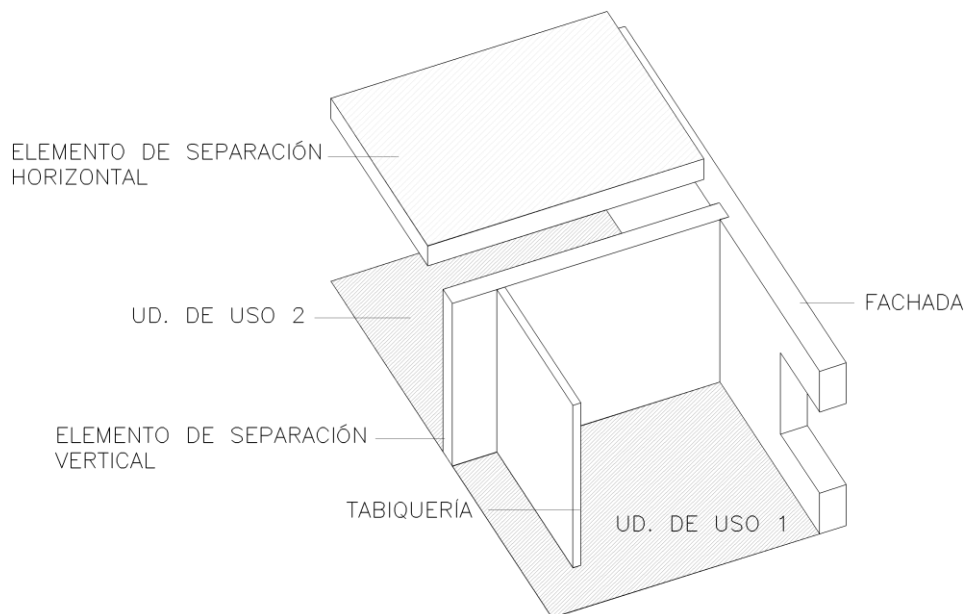


Figura 4.8. Elementos separadores.

El aislamiento exigido a las fachadas se condiciona al **índice de ruido día L_d** , que deberá ser obtenido por las entidades municipales en el desarrollo de sus mapas de ruido. A mayor ruido exterior se requiere mayor aislamiento acústico a ruido aéreo de la fachada de los edificios.

Como dato más relevante se aprecia que el nivel de exigencias en cuanto a aislamiento a ruido aéreo se ha incrementado de forma relevante en los elementos separadores verticales entre distintas unidades de uso con respecto a la norma.



4.5.2. Valores límite de aislamiento a ruido de impactos.

El **aislamiento a ruido de impactos también ha sido revisado con criterios muy restrictivos**, quizás motivado por el escaso nivel de exigencia de la NBE-CA-88. Con seguridad, el diseño y el control en obra de los forjados y suelos de las viviendas se va modificar sustancialmente, por ser esta exigencia, el factor de aislamiento con mayor riesgo de incumplimiento utilizando los sistemas constructivos actuales. En la siguiente tabla se muestran los valores límite que han sido recogidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

PROTECCIÓN FRENTE A RUIDO DE IMPACTOS PROCEDENTE DE:	RECINTO HABITABLE PROTEGIDO	RECINTO HABITABLE NO PROTEGIDO
I.- OTRAS UNIDADES DE USO	Colindante horizontalmente, verticalmente o que tenga una arista horizontal común: $L'_{nT,w} < 65 \text{ dB}$	-----
II.- RECINTOS DE INSTALACIÓN O DE ACTIVIDAD	Colindante horizontalmente, verticalmente o que tenga una arista horizontal común: $L'_{nT,w} < 60 \text{ dB}$	

Tabla 4.7. Valores límite de aislamiento a ruido de impactos según el DB HR protección frente al ruido.

El aislamiento a ruido de impactos no mide directamente el aislamiento de un elemento separador, sino que se **determina el nivel de presión sonora máximo** que debe existir en el interior de un recinto cuando se somete a un elemento separador horizontal a la acción de una máquina de impactos normalizada. Por lo que es importante saber que los niveles que aparecen en la tabla anterior solamente pueden ser verificados si se utiliza la máquina de impactos adecuada. Con respecto a la NBE-CA-88, el Código Técnico de la Edificación ha reducido el nivel global de presión de ruido de impactos permitido en 15 dBA, que equivale en términos de energía a disminuir este índice en 5 veces su valor actual.

4.5.3. Valores límite de tiempo de reverberación.

El acondicionamiento acústico de los recintos de pública concurrencia, también se ha visto regulado en el CTE. En la siguiente tabla se muestran los valores del tiempo



de reverberación que deben poseer para garantizar la inteligibilidad de la palabra en su interior.

	TIPO DE RECINTO	TIEMPO DE REVERBERACIÓN
I.- EN AULAS, SALA DE CONFERENCIAS, COMEDORES Y RESTAURANTES	Aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación y sin mobiliario) cuyo volumen sea menor de 350 m ³ .	≤ 0.7 SEGUNDOS
	Aulas y salas de conferencias vacías (con el total de las butacas) cuyo volumen sea menor de 350 m ³ .	≤ 0.5 SEGUNDOS
	En restaurantes y comedores vacíos	≤ 0.9 SEGUNDOS
II.- ZONA COMÚN DE UN EDIFICIO DE USO RESIDENCIAL O DOCENTE COLINDANTE CON RECINTOS HABITABLES CON LOS QUE COMPARTEN PUERTAS	Absorción acústica equivalente: A ≥ 0.2 m² por cada m³ del volumen del recinto.	

Tabla 4.8. Valores límite de tiempo de reverberación según DB HR protección frente al ruido.

4.5.4. Valores límite de ruido y vibraciones de las instalaciones.

Los aspectos más relevantes que contiene el CTE respecto al ruido de las instalaciones se enumeran a continuación.

- Los **suministradores de los equipos y productos** incluirán en su documentación los valores de las magnitudes vibro-acústicas relevantes para el proyecto. Como son: nivel de potencia acústica de equipos, peso y velocidad de giro de los equipos, carga máxima y rigidez dinámica de los elementos elásticos, transmisibilidad frente a carga de los soportes elásticos que sustentan a los equipos y los conductos, el coeficiente de absorción



acústica de los productos absorbentes utilizados en conductos de ventilación y aire acondicionado, la atenuación de los conductos prefabricados (expresado como pérdida por inserción) y la atenuación total de los silenciadores que estén interpuestos en conductos o empotrados en cualquier elemento constructivo.

- Si un **conducto de instalación (hidráulica o ventilación)** atraviesa un elemento de separación horizontal, se recubrirá y se sellarán las holguras de los huecos efectuados en el forjado para el paso del conducto, con un material elástico que impida la transmisión de las vibraciones a la estructura.
- Deben **eliminarse los contactos entre el suelo flotante y los conductos de instalaciones** que discurran bajo él. Para ello los conductos se revestirán de un material elástico.
- Deben utilizarse **elementos elásticos y sistemas anti-vibratorios** en las sujeciones o puntos de contacto entre las instalaciones que produzcan vibraciones y los elementos constructivos.

4.6. Soluciones recogidas por el CTE en el catálogo de elementos constructivos.

El **Catálogo de Elementos Constructivos** se ha concebido como un instrumento de ayuda al proyectista en el cumplimiento de una serie de exigencias establecidas en el CTE. No posee carácter reglamentario, por lo que se pueden utilizar soluciones alternativas a las aportadas en el Catálogo, siempre que se justifique el cumplimiento de las exigencias establecidas en el CTE.

Las **soluciones contempladas** en el Catálogo son siempre en **condiciones de correcta ejecución del sistema constructivo** diseñado para cada uno de los elementos separadores que integran el edificio. Las circunstancias singulares, presentes habitualmente en todas las edificaciones, deben ser estudiadas con detalles y se aconseja su verificación final en obra.

En cuanto a las características, el catálogo incluye en la mayoría de los casos **valores mínimos y medios**. Los valores mínimos son valores conservadores que se garantizan en todos los casos. Con los valores medios se ha tenido en cuenta la dispersión de la producción de un mismo producto.

Durante el largo proceso de desarrollo del Documento Básico HR Protección frente al ruido, se han aportado diversas soluciones que distaban mucho de la realidad.



Los valores de aislamiento eran demasiado “optimistas”. Con el Catálogo de Elementos Constructivos se aportan valores mucho más acordes con la realidad.

A continuación se recogen en el presente documento todas las **soluciones propuestas** para elementos separadores verticales en el Catálogo. Teniendo en cuenta los valores límite para cada uno de los perfiles de calidad establecidos (básico, notable y excelente) es posible seleccionar un sistema constructivo de los recogidos en el catálogo que cumpla con el nivel de exigencia correspondiente. Es muy importante recordar que variaciones respecto de las densidades superficiales de las particiones o una incorrecta ejecución en obra puede modificar considerablemente los resultados, dando lugar a una no conformidad en caso de verificación.

Elemento base de una hoja.

4.4.1.1 Elemento base de una hoja

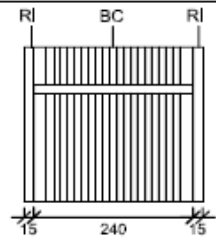
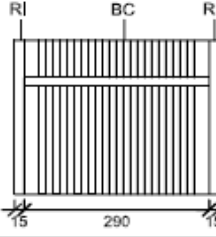

PARTICIÓN INTERIOR VERTICAL/ MEDIANERÍA	
DE FABRICA O DE HORMIGÓN	
Una hoja	
HF	hoja de fábrica
LH	ladrillo cerámico hueco
LH PF	ladrillo cerámico hueco de pequeño formato
LH GF	ladrillo cerámico hueco de gran formato ⁽¹⁾
LP	ladrillo cerámico perforado
BC	bloque cerámico aligerado machihembrado
PES	panel de yeso o escayola
BH	bloque de hormigón
AD	de áridos densos ⁽²⁾
AL-P	de áridos ligeros perforado ⁽³⁾
AL-M	de áridos ligeros macizo ⁽⁴⁾
LHO	Ladrillo de hormigón
AD-P	de áridos densos ⁽²⁾ perforado
AD-M	de áridos densos ⁽²⁾ macizo
AL-P	de áridos ligeros ⁽⁵⁾ perforado
BP	bloque de picón
H	hoja de hormigón armado
H C	con hormigón convencional
H AL	con hormigón de áridos ligeros ⁽⁶⁾
RI	revestimiento interior (Guarnecido o enlucido)







Código	Sección	Hoja de fábrica HF	HE ⁽⁷⁾	HR ⁽⁸⁾	
			R (m ² K/W)	R _A (dBA)	m (kg/m ²)
P1.1 ⁽⁸⁾		LH PF	0,21	36 [37]	89 [97]
P1.2 ⁽⁸⁾		LH GF	0,38	33 [34]	70 [80]
P1.3		LH	0,28	40 [42]	127 [160]
P1.4		LP	0,23	42 [44]	150 [161]

Código	Sección	Hoja de fábrica HF	HE ⁽⁷⁾	HR ⁽⁸⁾	
			R (m ² K/W)	R _A (dBA)	m (kg/m ²)
P1.5		LP	0,40	49 [50]	284 [313]
P1.6		BC	0,37	43 [45]	136 [160]
P1.7		BC	0,49	47 [48]	185 [198]



P1.8		BC	0,62	50 [51]	228 [245]
P1.9		BC	0,73	51 [52]	264 [283]
P1.10		PES	0,30	38	100

Código	Sección	Hoja de fábrica HF	HE ⁽⁷⁾		HR ⁽⁸⁾	
			R (m ² K/W)	R _a (dBA)	m (kg/m ²)	
P1.11		BH AD	0,15	41	151	
		BH AL-P	0,50	40	128	
P1.12		BH AD	0,24	45	198	
		BH AL-P	0,73	43	170	
		BH AL-M	0,85	45	189	
P1.13		BH AL-M	0,60	51 ⁽¹⁰⁾	277 ⁽¹⁰⁾	
P1.14		BH AD	0,27	48	239	
		BH AL-P	0,80	46	211	



P1.15		BH AD	0,30	52	294
		BH AL-P	0,88	48	234
		BH AL-M	0,96	49	250
P1.16		BH AD	0,31	55	350
		BH AL-P	1,00	51	279
		BH AL-M	1,00	54	335

Código	Sección	Hoja de fábrica HF	HE ⁽⁷⁾	HR ⁽⁸⁾	
			R (m ² K/W)	R _a (dBA)	m (kg/m ²)
P1.17		LHO AD-P	0,16	44	180
		LHO AD-M	0,12	48	228
		LHO AL-P	0,36	42	160
P1.18 ⁽¹⁸⁾		BP	0,27 [0,32]	40 [40]	146 [128]
P1.19 ⁽¹⁸⁾		BP	0,31 [0,36]	43 [43]	171 [147]
P1.20 ⁽¹⁸⁾		BP	0,40 [0,48]	47 [47]	212 [182]



P1.21 ⁽¹⁸⁾		BP	0,45	49	241
			[0,53]	[49]	[221]
P1.22 ^{(11) (18)}		BP	0,50	53	267
			[0,59]	[53]	[242]

Código	Sección	Hoja de hormigón H	HE ⁽⁷⁾	HR ⁽¹²⁾	
			R (m ² K/W)	R _A (dBA)	m (kg/m ²)
P1.23		H C	0,05	52	300
		H AL	0,09	47	216
P1.24		H C	0,06	57	400
		H AL	0,12	51	288
P1.25		H C	0,08	60	500
		H AL	0,15	55	360



Elemento base de dos hojas.

PARTICIÓN INTERIOR VERTICAL/ MEDIANERÍA					
DE FABRICA					
Dos hojas					
<p>RI revestimiento interior (Guarnecido o enlucido)</p> <p>HF hoja de fábrica</p> <p>LH ladrillo cerámico hueco</p> <p>LH PF ladrillo cerámico hueco de pequeño formato</p> <p>LH GF ladrillo cerámico hueco de gran formato</p> <p>LP ladrillo perforado</p> <p>BC bloque cerámico aligerado machihembrado</p> <p>BH bloque de hormigón</p> <p>BH bloque de hormigón</p> <p>AD de áridos densos ⁽¹⁾</p> <p>AL-P de áridos ligeros perforado ⁽²⁾</p> <p>LHO Ladrillo de hormigón</p> <p>AD-P de áridos densos ⁽¹⁾ perforado</p> <p>AD-M de áridos densos ⁽¹⁾ macizo</p> <p>AL-P de áridos ligeros ⁽³⁾ perforado</p> <p>AT aislante: lana mineral ⁽⁴⁾</p>					
Código	Sección	Hojas de fábrica HF	HE ⁽⁵⁾	HR ⁽⁶⁾	
			R (m ² K/W)	R _A (dBA)	m (kg/m ²)
P2.1 ⁽⁷⁾		LH PF	0,37+R _{AT}	44 [45]	130 [170]
		LH GF	0,71+R _{AT}	43 [44]	110 [130]
P2.2 ⁽⁷⁾		LH	0,51+R _{AT}	46 [47]	230 [300]
P2.3 ⁽⁷⁾		LP	0,41+R _{AT}	47 [48]	264 [358]
P2.4 ⁽⁷⁾		BC	0,69+R _{AT}	47 [47]	224 [264]

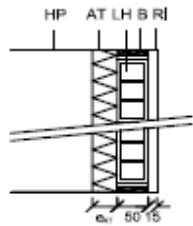


Código	Sección	Hojas de fábrica HF	HE ⁽⁵⁾	HR ⁽⁶⁾	
			R (m ² K/W)	R _A (dBA)	m (kg/m ²)
P2.5 ⁽⁷⁾		BH AD	0,25+R _{AT}	47	272
		BH AL-P	0,95+R _{AT}	47	225
Código	Sección	Hojas de fábrica HF	HE ⁽⁵⁾	HR ⁽⁶⁾	
P2.6 ⁽⁷⁾		LHO AD-P	0,27+R _{AT}	48	329
		LHO AD-M	0,19+R _{AT}	50	426
		LHO AL-P	0,67+R _{AT}	47	290

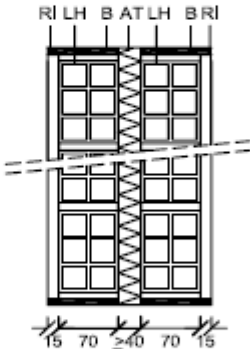
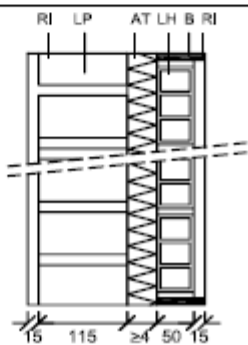
Trasdosados.

TRASDOSADOS					
HP hoja principal T trasdosado SP separación de 10 mm C cámara no ventilada AT aislante: lana mineral ⁽¹⁾ YL placa de yeso laminado LH ladrillo hueco sencillo o gran formato de 5 cm de espesor B bandas elásticas ⁽²⁾ RI revestimiento interior (Guarnecido o enlucido)					
Código	Sección	e _{YL} (mm)	e _{AT} (mm)	HE ⁽⁵⁾	HR ⁽⁴⁾
				R (m ² K/W)	ΔR _A [m _{al. base}] (dBA)
TR1		15	50	0,21+R _{AT}	17 [70] 16 [100] 15 [140] 14 [180] 13 [180] 12 [200] 10 [250] 9 [300] 8 [350] 7 [400]
		2x12,5	50	0,25+R _{AT}	
TR2		15	30	0,06+R _{AT}	10 [70] 9 [100] 8 [140] 7 [180] 6 [180] 5 [200] 3 [250] 2 [300] 1 [350] 0 [400]



TR3		-	40	$0,12+R_{AT}$	$16^{(5)}$
-----	---	---	----	---------------	------------

Dos hojas de fábrica con bandas elásticas.

PARTICIÓN INTERIOR VERTICAL/ MEDIANERÍA DE FABRICA						
De dos hojas con bandas elásticas						
<p>RI revestimiento interior (Guarnecido o enlucido) HF hoja de fábrica LH ladrillo cerámico hueco LH PF ladrillo cerámico hueco de pequeño formato LH GF ladrillo cerámico hueco de gran formato LP ladrillo perforado BC bloque cerámico aligerado machihembrado BP bloque de picón B banda elástica⁽¹⁾ AT aislante: lana mineral⁽²⁾</p>						
Código	Sección	Hojas de fábrica		HE	HR ⁽³⁾	
		HF ₁	HF ₂	U (W/m ² K)	R _A (dBA)	m (kg/m ²)
P3.1		LH PF		$1/(0,63+R_{AT})$	53 [55]	148 [170]
		LH GF		$1/(0,97+R_{AT})$	53 [55]	110 [130]
P3.2		LP	LH PF	$1/(0,58+R_{AT})$	58 [61]	184 [241]
			LH GF	$1/(0,67+R_{AT})$	58 [61]	179 [233]



P3.3		BC	LH PF	$1/(0,72+R_{AT})$	58 [61]	173 [217]
			LH GF	$1/(0,81+R_{AT})$	58 [61]	168 [209]

Código	Sección	Hojas de fábrica		HE	HR ⁽²⁾	
		HF ₁	HF ₂	U (W/m ² K)	R _A (dBA)	m (kg/m ²)
P3.4 ⁽⁴⁾		BP		$1/(0,75+R_{AT})$	54	257
				$[1/(0,85+R_{AT})]$	[54]	[220]

De entramado autoportante.

PARTICIÓN INTERIOR VERTICAL/ MEDIANERÍA DE ENTRAMADO AUTOPORTANTE						
YL placa de yeso laminado SP separación de 10 mm CM chapa metálica de 0,6 mm de espesor AT aislante: lana mineral de resistividad al flujo del aire, $r \geq 5 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$						
Código	Sección	HE		HR		
		U (W/m ² K)	R _A (dBA)	m ⁽¹⁾ (kg/m ²)		
P4.1		$1/(0,38+R_{AT})$	43 40 ⁽²⁾	28		



P4.2		$1/(0,46+R_{AT})$	52	44
P4.3		$1/(0,38+R_{AT})$	47	26
P4.4		$1/(0,46+R_{AT})$	58 ⁽³⁾	50
P4.5		$1/(0,66+R_{AT})$	58 ⁽³⁾	55
P4.6		$1/(0,61+R_{AT})$	55 ⁽³⁾ 62 ⁽⁴⁾	45

Código	Sección	HE	HR	
		U (W/m ² K)	R _a (dBA)	m ⁽¹⁾ (kg/m ²)
P4.7		$1/(0,66+R_{AT})$	65 ⁽³⁾	55
P4.8		$1/(0,61+R_{AT})$	67 ⁽⁴⁾	54
P4.9		$1/(0,66+R_{AT})$	65 ⁽³⁾	65



4.7. Recomendaciones.

En la situación actual de desarrollo del documento básico HR, unido al catálogo de Elementos constructivos y la herramienta de cálculo, se pueden obtener soluciones de diseño aceptables para el cumplimiento de las exigencias de protección frente al ruido.

Un aspecto esencial para conseguir el cumplimiento de los valores de cada uno de los perfiles planteados en este documento es la **verificación correcta de las densidades de los materiales utilizados** en los elementos separadores verticales, así como, la **correcta ejecución en obra** sobre todo si se utilizan soluciones con bandas elásticas perimetrales.

Verificación en fase de ejecución para elementos separadores verticales (medianerías).

1. Verificar las **dimensiones de los ladrillos**, no aceptar formatos aligerados que no cumplan con la densidad superficial prevista en proyecto.
2. Verificar el cumplimiento de la **densidad superficial de los ladrillos** para cada partida utilizada en la obra. Un procedimiento adecuado en obra podría consistir en la pesada de 10 unidades, obtener su peso medio y comprobación de su densidad superficial, siendo S la superficie abarcada por las 10 unidades.

$$\rho_{\text{sup}} = \frac{10 \times \text{peso_medio}}{S}$$

3. Con respecto al **material aislante** (lanas minerales) comprobar visualmente el estado de dicho material, verificando que no existen paneles deteriorados, desgarrados, etc...
4. Verificar el cumplimiento de la **densidad superficial de los paneles del material aislante** para cada partida utilizada en la obra. Un procedimiento adecuado en obra podría consistir en la pesada de 5 unidades, obtener su peso medio y comprobación de su densidad superficial, siendo S la superficie abarcada por las 5 unidades.

$$\rho_{\text{sup}} = \frac{5 \times \text{peso_medio}}{S}$$



5. El material aislante debe preferiblemente adherirse a la hoja correspondiente, evitando que queden superficies de la pared no cubiertas. No debe solaparse el material, ya que puede provocar su desprendimiento posteriormente. Para una **correcta adherencia o colocación del material aislante**, debe realizarse correctamente el revestimiento interior.
6. Verificar la **correcta colocación y fijación de la banda perimetral**. Debe colocarse adecuadamente, evitándose la conexión rígida de la hoja de fábrica con el suelo, techo o paredes laterales.

Verificación en fase de ejecución para fachadas.

Con respecto al sistema constructivo definido para la fachada (doble hoja con material aislante, no ventilada) se deben cumplir las recomendaciones ya mencionadas para los elementos separadores verticales para distintas unidades de uso (medianerías). Para las fachadas no se plantea la colocación de bandas perimetrales en la hoja de fábrica interior. Por lo tanto, se debe cumplir también:

1. Verificar las **dimensiones de los ladrillos**, no aceptar formatos aligerados que no cumplan con la densidad superficial prevista en proyecto.
2. Verificar el cumplimiento de la **densidad superficial de los ladrillos** para cada partida utilizada en la obra. Un procedimiento adecuado en obra podría consistir en la pesada de 10 unidades, obtener su peso medio y comprobación de su densidad superficial, siendo S la superficie abarcada por las 10 unidades.

$$\rho_{\text{sup}} = \frac{10 \times \text{peso_medio}}{S}$$

3. Con respecto al **material aislante** (lanas minerales) comprobar visualmente el estado de dicho material, verificando que no existen paneles deteriorados, desgarrados, etc...
4. Verificar el cumplimiento de la **densidad superficial de los paneles del material aislante** para cada partida utilizada en la obra. Un procedimiento adecuado en obra podría consistir en la pesada de 5 unidades, obtener su peso medio y comprobación de su densidad superficial, siendo S la superficie abarcada por las 5 unidades.

$$\rho_{\text{sup}} = \frac{5 \times \text{peso_medio}}{S}$$



5. El material aislante debe preferiblemente adherirse a la hoja correspondiente, evitando que queden superficies de la pared no cubiertas. No debe **solaparse el material**, ya que puede provocar su desprendimiento posteriormente. Para una correcta adherencia o colocación del material aislante, debe realizarse correctamente el revestimiento interior.
6. Con respecto a la **carpintería**, ésta debe poseer características adecuadas en cuanto a la protección frente al ruido, incluyendo los vidrios. Debe garantizarse unas condiciones mínimas de estanqueidad que garantice una buena respuesta acústica (clase A3). Las soluciones estándar de acristalamiento doble no son válidas.
7. Los **capialzados** deben garantizar una baja permeabilidad al aire (clase A3) y un espesor mínimo de 10 mm si son de PVC o madera. Para el perfil de calidad excelente se debe colocar interiormente material aislante de al menos 25 mm de espesor.



Capítulo 5.

Perfiles de calidad

La sociedad actual es cada vez más sensible a la hora de valorar la calidad de la vivienda donde va a desarrollar buena parte de su vida y que les va a suponer una inversión cuantiosa de sus recursos económicos. Por otra parte, las administraciones competentes son también conscientes de que la vivienda es un bien demasiado importante como para no exigir unos niveles aceptables de calidad a todos los agentes que participan en el sector de la edificación. Todo ello, ha motivado que las distintas comunidades autónomas comiencen a desarrollar mecanismos para “etiquetar” la calidad de los edificios y en definitiva a las viviendas que los componen. Aspectos como el consumo energético, la salubridad, el confort térmico y acústico, etc., son aspectos a considerar.

El título I de la Ley 8/2005, de 14 de diciembre, para la calidad en la edificación de la Región de Murcia, establece las disposiciones generales para la Gestión de la Calidad, entendiendo el proceso de calidad en la edificación como un sistema global que, desde el inicio de la promoción hasta su recepción y uso, implica a todos y cada uno de los intervinientes.

El ámbito de aplicación del Perfil de Calidad en la Edificación se centra en edificios de uso residencial, por tratarse del uso predominante de las edificaciones, además de ser el uso más adecuado para la aplicación de los requisitos que se definen en el perfil.

El Perfil de calidad de un edificio define las características de calidad del mismo, describiendo cada requisito al que da una respuesta mediante las prestaciones que satisface, y de las que se beneficiará el futuro usuario. Caracteriza a los edificios según los requisitos básicos por el Código Técnico de la Edificación, junto con los requisitos regulados por normativa de carácter autonómico.

Para cada requisito se establecen una serie de exigencias tipificadas en niveles, y en función del cumplimiento de las mismas, se obtiene la clasificación del edificio en la escala de calidad, y se ha de concebir desde la fase de proyecto, ejecución e información al usuario de las prestaciones finales alcanzadas por el edificio, característica que lo distingue del resto.



5.1. Conceptos básicos.

Requisitos: expresan una necesidad del usuario a satisfacer por el edificio. La obtención de un requisito, mediante el cumplimiento de determinadas exigencias, da lugar a las prestaciones que caracterizan al edificio.

Prestaciones: son las características del edificio que dan respuesta a los requisitos exigibles.

Exigencias: son las especificaciones a cumplir para alcanzar un determinado nivel, y dar respuesta a la prestación concreta de cada requisito. Según sea el grado de satisfacción de los requisitos, así será el nivel de calidad de un edificio.

Niveles de calidad (en función de la adecuación de los requisitos del usuario):

- El primero es el **Nivel Básico**, que presenta la frontera entre lo admisible y lo inadmisibile, es decir, cumple con las exigencias de la normativa obligatoria.
- El segundo es el **Nivel Notable**, el cual se alcanza con relativa facilidad, y en el que se ven incrementados los niveles de calidad exigibles.
- El tercero es el **Nivel Excelente**, con unas cotas de calidad que superan substancialmente lo normal o habitual. Para acceder a él es necesario realizar un esfuerzo tanto en el diseño como en la construcción.



Figura 5.1. Niveles del Perfil de Calidad en la Edificación.



5.2. Estructura del Perfil de Calidad.

En el Perfil de Calidad las prestaciones atribuibles a un edificio se encuentran en dos tipos de situaciones:

- **Requisitos graduados:** son aquellos en los que se han definido niveles de calidad superiores al nivel básico, que responde al cumplimiento de la normativa obligatoria.
- **Requisitos no graduados:** aquellos requisitos para los que el cumplimiento de las exigencias de nivel básico, que satisfacen la normativa obligatoria, es suficiente para alcanzar las prestaciones de calidad atribuibles al edificio.

En el siguiente gráfico, además de especificar los requisitos, se desarrollan de los requisitos graduados las prestaciones que se pretende conseguir al cumplir con las exigencias definidas para cada nivel.

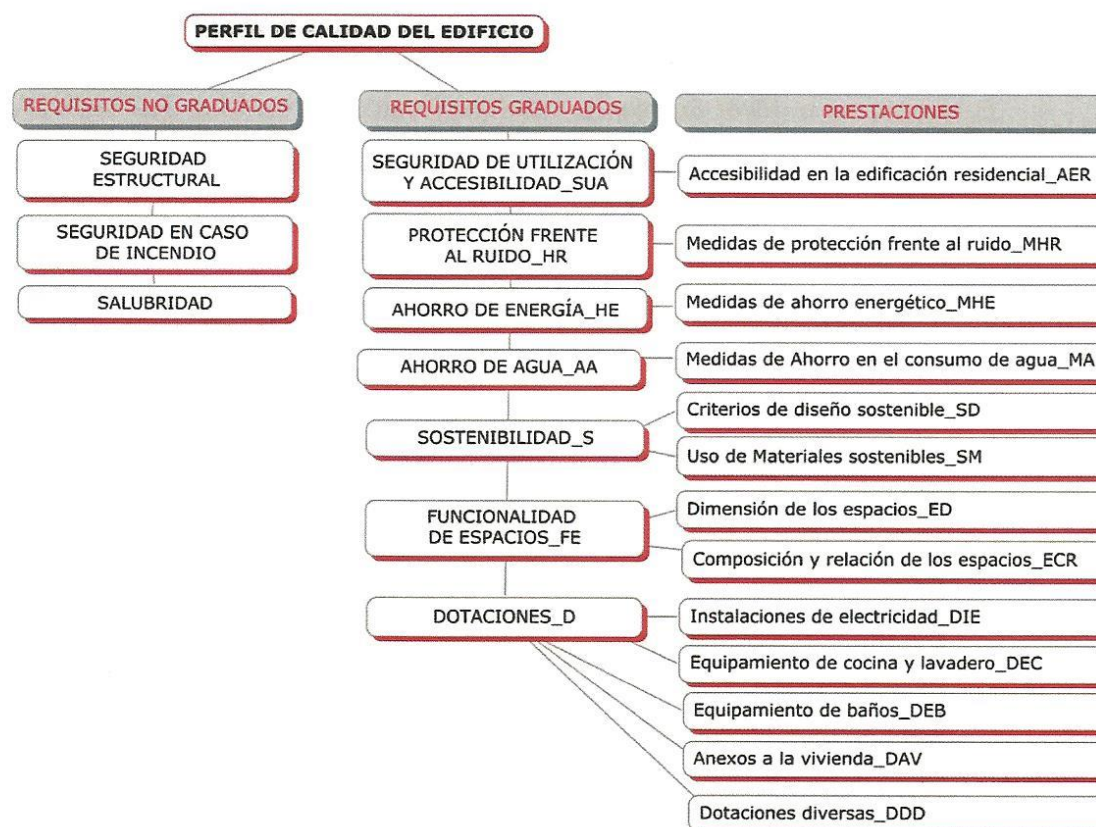


Figura 5.2. Requisitos del Perfil de Calidad. Prestaciones de los Requisitos Graduados.

El resto de **requisitos no graduados**, responden a prestaciones asociadas a requisitos de seguridad, los cuales por su misma esencia alcanzan unos mínimos



obligatorios bastante exigentes y suficientes para la seguridad estadística. En ellos, el nivel umbral admisible se alcanza con el cumplimiento del CTE.

El **promotor puede elegir libremente los requisitos graduados** sobre los que quiere distinguir al edificio, excepto en el caso del requisito sostenibilidad, que por su entidad engloba a los requisitos ahorro de energía y agua.

Sobre los **requisitos graduados** se aplicarán los **procedimientos de verificación y calificación en las fases de proyecto y ejecución**. Los requisitos no graduados y los que no se sometan a verificación obtendrán automáticamente un nivel básico.

En este capítulo, y en referencia al proyecto desarrollado, nos centraremos en desarrollar el **requisito de protección frente al ruido HR**.

5.3. Objeto del requisito protección frente al ruido (HR).

Pretende este requisito **analizar algunas de las soluciones constructivas** planteadas en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, por medio de **medidas realizadas in situ** que verifiquen la viabilidad de dichas soluciones teniendo en cuenta los posibles defectos derivados de la ejecución en obra.

Las **soluciones planteadas** en este documento son solo **orientativas**, ya que se han obtenido para un conjunto de elementos separadores verticales y horizontales. Esto implica que para otra configuración de elementos separadores (suelo, techo, tabiquería, medianeras, etc.) la solución puede no cumplir las exigencias del DB-HR del Código Técnico de la Edificación.

5.4. Niveles.

Desde el punto de vista práctico es necesario establecer un procedimiento escalonado de exigencias, donde los valores mínimos de calidad queden definidos por la normativa de aplicación en cada caso. En cuanto a las condiciones acústicas de los edificios y locales en general, es en el Documento Básico HR del Código Técnico de la Edificación (CTE) donde se regula los valores límite a cumplir. A continuación se muestran **tres escalones de exigencias** distintos para poder etiquetar un edificio en función de su **menor o mayor calidad acústica**:



- **Nivel básico**, el establecido en el CTE para los elementos de separación vertical.
- **Nivel notable**, el establecido en el CTE incrementado en 2 dBA.
- **Nivel excelente**, el establecido en el CTE incrementado en 4 dBA.

La **puntuación** otorgada a cada nivel es la siguiente:

- **Nivel básico**, 1 punto.
- **Nivel notable**, 2 puntos.
- **Nivel excelente**, 3 puntos.

5.5. Límites de aislamiento acústico exigidos para cada perfil de calidad.

Para la definición de las exigencias que dan respuesta al cumplimiento de esta prestación, partimos de las que establece el documento HR del Código técnico de la Edificación como **exigencias mínimas**, que corresponderán por tanto al nivel básico. Las exigencias de los niveles de calidad notable y excelente, se definen mediante los mismos parámetros, pero con valores más restrictivos.

Antes indicaremos las siguientes unidades lo que representan:

- D_n valor de aislamiento estandarizado para un elemento separador
- R_A índice de reducción sonora aparente
- L_d valor del índice de ruido de día



Nivel de exigencia Básico.

PROTECCIÓN FRENTE A RUIDO AÉREO DE:		RECINTO HABITABLE PROTEGIDO		RECINTO HABITABLE NO PROTEGIDO			
		I.- MISMA UNIDAD DE USO		$R_A > 33$ dBA		$R_A > 33$ dBA	
II.- OTRAS UNIDADES DE USO	NO COMPARTE PUERTA O VENTANA	$D_{nT,A} > 50$ dBA		$D_{nT,A} > 45$ dBA			
	COMPARTE PUERTA O VENTANA	R_A (puerta o ventana) > 30 dBA R_A (muro) > 50 dBA		R_A (puerta o ventana) > 20 dBA R_A (muro) > 50 dBA			
III.- RECINTOS DE INSTALACIÓN Y ACTIVIDAD		$D_{nT,A} > 55$ dBA	NO COMPARTE PUERTA O VENTANA	$D_{nT,A} > 45$ dBA			
			COMPARTE PUERTA O VENTANA	R_A (p/v.) > 30 dBA R_A (muro) > 50 dBA			
IV.- EXTERIOR El valor del índice de ruido día (L_d)* puede obtenerse en las administraciones competentes o mediante consulta de los mapas estratégicos de ruido. En su defecto $L_d = 60$ para áreas acústicas con predominio de suelo residencial. Para el resto de áreas se aplicará lo dispuesto en la Ley del Ruido 37/2003 y normas reglamentarias que la desarrollen. * definido en R.D. 1513/2005		SOLAMENTE RECINTOS PROTEGIDOS					
		L_d dBA		USO DEL EDIFICIO			
				Residencial y hospitalario		Cultural, Docente y Administrativo	
				DORMITORIO	ESTANCIA	ESTANCIA	ÁULA
				$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$
		$L_d < 60$		30	30	30	30
		$60 \leq L_d < 65$		32	30	32	30
		$65 \leq L_d < 70$		37	32	37	32
		$70 \leq L_d < 75$		42	37	42	37
		$L_d \geq 75$		47	42	47	42
<p>Para patios de manzana, patios interiores, callejones se considerará un L_d 10 dBA menor que el índice de ruido día de la zona.</p> <p>Cuando predomine ruido de aeronaves el $D_{2m,nT,Atr}$ se incrementará en 4 dBA.</p> <p>Fachadas expuestas a varios valores de L_d (esquinas), se toma el mayor de los niveles.</p>							



RECINTOS HABITABLES (PROTEGIDOS Y NO PROTEGIDOS)		
V.- CON OTROS EDIFICIOS	Para cada uno de los cerramientos de una medianería entre dos edificios	$D_{2m,nT,Atr} > 40 \text{ dBA}$
	o alternativamente para el conjunto de los dos cerramientos	$D_{nT,A} > 50\text{dBA}$

Tabla 5.1. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo según el DB HR protección frente al ruido

PROTECCIÓN FRENTE A RUIDO DE IMPACTOS PROCEDENTE DE:	RECINTO HABITABLE PROTEGIDO	RECINTO HABITABLE NO PROTEGIDO
I.- OTRAS UNIDADES DE USO	Colindante horizontalmente, verticalmente o que tenga una arista horizontal común: $L'_{nT,w} < 65 \text{ dB}$	-----
II.- RECINTOS DE INSTALACIÓN O DE ACTIVIDAD	Colindante horizontalmente, verticalmente o que tenga una arista horizontal común: $L'_{nT,w} < 60 \text{ dB}$	

Tabla 5.2. Valores límite de aislamiento a ruido de impactos según el DB HR protección frente al ruido



	TIPO DE RECINTO	TIEMPO DE REVERBERACIÓN
I.- EN AULAS, SALA DE CONFERENCIAS, COMEDORES Y RESTAURANTES	Aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación y sin mobiliario) cuyo volumen sea menor de 350 m ³ .	≤ 0.7 SEGUNDOS
	Aulas y salas de conferencias vacías (con el total de las butacas) cuyo volumen sea menor de 350 m ³ .	≤ 0.5 SEGUNDOS
	En restaurantes y comedores vacíos	≤ 0.9 SEGUNDOS
II.- ZONA COMÚN DE UN EDIFICIO DE USO RESIDENCIAL O DOCENTE COLINDANTE CON RECINTOS HABITABLES CON LOS QUE COMPARTEN PUERTAS	Absorción acústica equivalente: A ≥ 0.2 m² por cada m ³ del volumen del recinto.	

Tabla 5.3. Valores límite de tiempo de reverberación según el DB HR protección frente al ruido.



Nivel de exigencia Notable.

PROTECCIÓN FRENTE A RUIDO AÉREO DE:		RECINTO HABITABLE PROTEGIDO		RECINTO HABITABLE NO PROTEGIDO		
		I.- MISMA UNIDAD DE USO		$R_A > 35$ dBA		$R_A > 35$ dBA
II.- OTRAS UNIDADES DE USO	NO COMPARTE PUERTA O VENTANA	$D_{nT,A} > 52$ dBA		$D_{nT,A} > 47$ dBA		
	COMPARTE PUERTA O VENTANA	R_A (puerta o ventana) > 32 dBA R_A (muro) > 52 dBA		R_A (puerta o ventana) > 22 dBA R_A (muro) > 52 dBA		
III.- RECINTOS DE INSTALACIÓN Y ACTIVIDAD		$D_{nT,A} > 57$ dBA	NO COMPARTE PUERTA O VENTANA	$D_{nT,A} > 47$ dBA		
			COMPARTE PUERTA O VENTANA	R_A (p/v.) > 32 dBA R_A (muro) > 52 dBA		
IV.- EXTERIOR		SOLAMENTE RECINTOS PROTEGIDOS				
<p>El valor del índice de ruido día (L_d)* puede obtenerse en las administraciones competentes o mediante consulta de los mapas estratégicos de ruido.</p> <p>En su defecto</p> <p>$L_d = 60$ para áreas acústicas con predominio de suelo residencial. Para el resto de áreas se aplicará lo dispuesto en la Ley del Ruido 37/2003 y normas reglamentarias que la desarrollen.</p> <p>* definido en R.D. 1513/2005</p>		USO DEL EDIFICIO				
		Residencial y hospitalario		Cultural, Docente y Administrativo		
		L_d dBA	DORMITORIO	ESTANCIA	ESTANCIA	ÁULA
			$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$
		$L_d < 60$	32	32	32	32
		$60 \leq L_d < 65$	34	32	34	32
		$65 \leq L_d < 70$	39	34	39	34
		$70 \leq L_d < 75$	44	39	44	39
$L_d \geq 75$	49	44	49	44		
		<p>Para patios de manzana, patios interiores, callejones se considerará un L_d 10 dBA menor que el índice de ruido día de la zona.</p> <p>Cuando predomine ruido de aeronaves el $D_{2m,nT,Atr}$ se incrementará en 4 dBA.</p> <p>Fachadas expuestas a varios valores de L_d (esquinas), se toma el mayor de los niveles.</p>				



RECINTOS HABITABLES (PROTEGIDOS Y NO PROTEGIDOS)		
V.- CON OTROS EDIFICIOS	Para cada uno de los cerramientos de una medianería entre dos edificios	$D_{2m,nT,Atr} > 42 \text{ dBA}$
	o alternativamente para el conjunto de los dos cerramientos	$D_{nT,A} > 52 \text{ dBA}$

Tabla 5.4. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo según el DB HR protección frente al ruido

PROTECCIÓN FRENTE A RUIDO DE IMPACTOS PROCEDENTE DE:	RECINTO HABITABLE PROTEGIDO	RECINTO HABITABLE NO PROTEGIDO
I.- OTRAS UNIDADES DE USO	Colindante horizontalmente, verticalmente o que tenga una arista horizontal común: $L'_{nT,w} < 63 \text{ dB}$	-----
II.- RECINTOS DE INSTALACIÓN O DE ACTIVIDAD	Colindante horizontalmente, verticalmente o que tenga una arista horizontal común: $L'_{nT,w} < 58 \text{ dB}$	

Tabla 5.5. Valores límite de aislamiento a ruido de impactos según el DB HR protección frente al ruido.



	TIPO DE RECINTO	TIEMPO DE REVERBERACIÓN
I.- EN AULAS, SALA DE CONFERENCIAS, COMEDORES Y RESTAURANTES	Aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación y sin mobiliario) cuyo volumen sea menor de 350 m ³ .	≤ 0.6 SEGUNDOS
	Aulas y salas de conferencias vacías (con el total de las butacas) cuyo volumen sea menor de 350 m ³ .	≤ 0.45 SEGUNDOS
	En restaurantes y comedores vacíos	≤ 0.8 SEGUNDOS
II.- ZONA COMÚN DE UN EDIFICIO DE USO RESIDENCIAL O DOCENTE COLINDANTE CON RECINTOS HABITABLES CON LOS QUE COMPARTEN PUERTAS	Absorción acústica equivalente: A ≥ 0.3 m² por cada m ³ del volumen del recinto.	

Tabla 5.6 Valores límite de tiempo de reverberación según el DB HR protección frente al ruido.



Nivel de exigencia Excelente.

PROTECCIÓN FRENTE A RUIDO AÉREO DE:		RECINTO HABITABLE PROTEGIDO		RECINTO HABITABLE NO PROTEGIDO			
		I.- MISMA UNIDAD DE USO		$R_A > 37$ dBA		$R_A > 37$ dBA	
II.- OTRAS UNIDADES DE USO	NO COMPARTE PUERTA O VENTANA	$D_{nT,A} > 54$ dBA		$D_{nT,A} > 49$ dBA			
	COMPARTE PUERTA O VENTANA	R_A (puerta o ventana) > 34 dBA R_A (muro) > 54 dBA		R_A (puerta o ventana) > 24 dBA R_A (muro) > 54 dBA			
III.- RECINTOS DE INSTALACIÓN Y ACTIVIDAD		$D_{nT,A} > 59$ dBA		NO COMPARTE PUERTA O VENTANA	$D_{nT,A} > 49$ dBA		
				COMPARTE PUERTA O VENTANA	R_A (p/v.) > 34 dBA R_A (muro) > 54 dBA		
IV.- EXTERIOR El valor del índice de ruido día (L_d)* puede obtenerse en las administraciones competentes o mediante consulta de los mapas estratégicos de ruido. En su defecto $L_d = 60$ para áreas acústicas con predominio de suelo residencial. Para el resto de áreas se aplicará lo dispuesto en la Ley del Ruido 37/2003 y normas reglamentarias que la desarrollen. * definido en R.D. 1513/2005		SOLAMENTE RECINTOS PROTEGIDOS					
		USO DEL EDIFICIO					
		L_d dBA		Residencial y hospitalario		Cultural, Docente y Administrativo	
				DORMITORIO	ESTANCIA	ESTANCIA	ÁULA
				$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$	$D_{2m,nT,Atr}$
		$L_d < 60$		34	34	34	34
		$60 \leq L_d < 65$		36	34	36	34
		$65 \leq L_d < 70$		41	36	41	36
		$70 \leq L_d < 75$		46	41	46	41
		$L_d \geq 75$		51	46	51	46
<p>Para patios de manzana, patios interiores, callejones se considerará un L_d 10 dBA menor que el índice de ruido día de la zona.</p> <p>Cuando predomine ruido de aeronaves el $D_{2m,nT,Atr}$ se incrementará en 4 dBA.</p> <p>Fachadas expuestas a varios valores de L_d (esquinas), se toma el mayor de los niveles.</p>							



RECINTOS HABITABLES (PROTEGIDOS Y NO PROTEGIDOS)		
V.- CON OTROS EDIFICIOS	Para cada uno de los cerramientos de una medianería entre dos edificios	$D_{2m,nT,Atr} > 44 \text{ dBA}$
	o alternativamente para el conjunto de los dos cerramientos	$D_{nT,A} > 54 \text{ dBA}$

Tabla 5.7. Valores límite de aislamiento a ruido aéreo según el DB HR protección frente al ruido

PROTECCIÓN FRENTE A RUIDO DE IMPACTOS PROCEDENTE DE:	RECINTO HABITABLE PROTEGIDO	RECINTO HABITABLE NO PROTEGIDO
I.- OTRAS UNIDADES DE USO	Colindante horizontalmente, verticalmente o que tenga una arista horizontal común: $L'_{nT,w} < 61 \text{ dB}$	-----
II.- RECINTOS DE INSTALACIÓN O DE ACTIVIDAD	Colindante horizontalmente, verticalmente o que tenga una arista horizontal común: $L'_{nT,w} < 56 \text{ dB}$	

Tabla 5.8. Valores límite de aislamiento a ruido de impactos según el DB HR protección frente al ruido.



	TIPO DE RECINTO	TIEMPO DE REVERBERACIÓN
I.- EN AULAS, SALA DE CONFERENCIAS, COMEDORES Y RESTAURANTES	Aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación y sin mobiliario) cuyo volumen sea menor de 350 m ³ .	≤ 0.5 SEGUNDOS
	Aulas y salas de conferencias vacías (con el total de las butacas) cuyo volumen sea menor de 350 m ³ .	≤ 0.4 SEGUNDOS
	En restaurantes y comedores vacíos	≤ 0.7 SEGUNDOS
II.- ZONA COMÚN DE UN EDIFICIO DE USO RESIDENCIAL O DOCENTE COLINDANTE CON RECINTOS HABITABLES CON LOS QUE COMPARTEN PUERTAS	Absorción acústica equivalente: $A \geq 0.4 \text{ m}^2$ por cada m ³ del volumen del recinto.	

Tabla 5.9 Valores límite de tiempo de reverberación según el DB HR protección frente al ruido.

A continuación se recogen unas tablas que recopilan todos los datos agrupados con los niveles de exigencia, que pueden ser comparados por la misma tabla, tanto para ruido aéreo como para ruido de impactos:



Tabla 5.10. Para la verificación en fase de proyecto del aislamiento a ruido aéreo en el interior del edificio, según el DB HR.

PROTECCIÓN FRENTE A RUIDO AÉREO DE:		RECINTO HABITABLE PROTEGIDO			RECINTO HABITABLE NO PROTEGIDO		
		NIVEL PERFIL DE CALIDAD	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE	BASICO	NOTABLE
I.- MISMA UNIDAD DE USO (R_A en dBA)		$R_A > 33$	$R_A > 35$	$R_A > 37$	$R_A > 33$	$R_A > 35$	$R_A > 37$
<i>marcar lo que proceda</i>							
II.- OTRAS UNIDADES DE USO	PERFIL	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE
	NO COMPARTE PUERTA O VENTANA ($D_{nT,A}$ en dBA)	$D_{nT,A} > 50$	$D_{nT,A} > 52$	$D_{nT,A} > 54$	$D_{nT,A} > 45$	$D_{nT,A} > 47$	$D_{nT,A} > 49$
	<i>marcar</i>						
	PERFIL	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE
	COMPARTE PUERTA O VENTANA (R_A en dBA)	(puerta o ventana) $R_A > 30$	(puerta o ventana) $R_A > 32$	(puerta o ventana) $R_A > 34$	(puerta o ventana) $R_A > 20$ (muro) $R_A > 50$	(puerta o ventana) $R_A > 22$ (muro)	(puerta o ventana) $R_A > 24$ (muro)
	<i>marcar</i>						
NIVEL PERFIL DE CALIDAD		BASICO	NOTABLE	EXCELENTE	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE
III.- RECINTOS DE INSTALACIÓN Y ACTIVIDAD ($D_{nT,A}$ en dBA)		$D_{nT,A} > 55$	$D_{nT,A} > 57$	$D_{nT,A} > 59$	NO COMPARTE PUERTA O VENTANA $D_{nT,A} > 45$	$D_{nT,A} > 47$	$D_{nT,A} > 49$
<i>marcar lo que proceda</i>					COMPARTE PUERTA O VENTANA (puerta o ventana) $R_A > 30$ (muro) $R_A > 50$	(puerta o ventana) $R_A > 32$ (muro)	(puerta o ventana) $R_A > 34$ (muro) $R_A > 54$



Tabla 5.11. Para la verificación en fase de proyecto del aislamiento a ruido aéreo de la envolvente del edificio (fachada y medianera con otros edificios), según DB HR.

<p>V.- EXTERIOR</p> <p>El valor del índice de ruido día (L_d)* puede obtenerse en las administraciones competentes o mediante consulta de los mapas estratégicos de ruido.</p> <p>En su defecto</p> <p>$L_d = 60$ dBA para áreas acústicas con predominio de suelo residencial. Para el resto de áreas se aplicará lo dispuesto en la Ley del Ruido 37/2003 y normas reglamentarias que la desarrollen.</p> <p>* definido en R.D. 1513/2005</p> <p>Para patios de manzana, patios interiores, callejones se considerará un L_d 10 dBA menor que el índice de ruido día de la zona.</p> <p>Cuando predomine ruido de aeronaves el $D_{2m,nT,Atr}$ se incrementará en 4 dBA</p>	RECINTOS PROTEGIDOS				
	USO DEL EDIFICIO				
	Residencial y Hospitalario		Cultural, Sanitario, Docente y Administrativo		
	L_d dBA	DORMITORIO	ESTANCIA	ESTANCIA	ÁULA
$L_d < 60$	$D_{2m,nT,Atr}$ 30	$D_{2m,nT,Atr}$ 30	$D_{2m,nT,Atr}$ 30	$D_{2m,nT,Atr}$ 30	
$60 \leq L_d < 65$	32	30	32	30	
$65 \leq L_d < 70$	37	32	37	32	
$70 \leq L_d < 75$	42	37	42	37	
$L_d \geq 75$	47	42	47	42	
Datos necesarios para la verificación en proyecto de fachadas					
$L_d = \underline{\hspace{2cm}}$ dBA	USO DEL EDIFICIO				
Para la zona de ubicación de la construcción	Residencial y Hospitalario		Cultural, Sanitario, Docente y Administrativo		
$D_{2m,nT,Atr}$	DORMITORIO	ESTANCIA	ESTANCIA	ÁULA	
Definido en el proyecto	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	
$D_{2m,nT,Atr}$	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	
Obtenido de la tabla teniendo en cuenta L_d	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	$\underline{\hspace{2cm}}$ dBA	
DIFERENCIA	$\underline{\hspace{2cm}}$	$\underline{\hspace{2cm}}$	$\underline{\hspace{2cm}}$	$\underline{\hspace{2cm}}$	



Fachadas en esquina se toma el mayor valor de Ld	Diferencia >0 PERFIL BÁSICO														
	Diferencia >2 PERFIL NOTABLE														
	Diferencia >4 PERFIL EXCELENTE														
		USO DEL EDIFICIO Residencial y Hospitalario						USO DEL EDIFICIO Cultural, Sanitario, Docente y Administrativo							
		DORMITORIO			ESTANCIA			ESTANCIA			AULA				
	PERFÍL DE CALIDAD			B	N	E	B	N	E	B	N	E	B	N	E
	<i>marcar lo que proceda</i>														
VI.- CON OTROS EDIFICIOS	NIVEL PERFÍL DE CALIDAD			BASICO				NOTABLE				EXCELENTE			
	Para cada uno de los cerramientos de una medianería entre dos edificios														
	($D_{2m,nT,Atr}$ en dBA)			$D_{2m,nT,Atr} > 40$				$D_{2m,nT,Atr} > 42$				$D_{2m,nT,Atr} > 44$			
	<i>marcar lo que proceda</i>														
	NIVEL PERFÍL DE CALIDAD			BASICO				NOTABLE				EXCELENTE			
o alternativamente para el conjunto de los dos cerramientos															
($D_{nT,A}$ en dBA)			$D_{nT,A} > 50$				$D_{nT,A} > 52$				$D_{nT,A} > 54$				
<i>marcar lo que proceda</i>															



Tabla 5.12. Para la verificación en fase de proyecto del aislamiento a ruido de impactos, según DB HR.

PROTECCIÓN FRENTE A RUIDO DE IMPACTOS PROCEDENTE DE NIVEL PERFIL DE CALIDAD	RECINTO HABITABLE PROTEGIDO			RECINTO HABITABLE NO PROTEGIDO		
	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE			
I.- OTRAS UNIDADES DE USO Colindante horizontalmente, verticalmente o que tenga una arista horizontal común: <i>marcar lo que proceda</i>	$L'_{nT,w} < 65 \text{ dB}$	$L'_{nT,w} < 63 \text{ dB}$	$L'_{nT,w} < 61 \text{ dB}$	-----		
NIVEL PERFIL DE CALIDAD	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE
II.- RECINTOS DE INSTALACIÓN O DE ACTIVIDAD Colindante horizontalmente, verticalmente o que tenga una arista horizontal común: marcar lo que proceda	$L'_{nT,w} < 60 \text{ dB}$	$L'_{nT,w} < 58 \text{ dB}$	$L'_{nT,w} < 56 \text{ dB}$	$L'_{nT,w} < 60 \text{ dB}$	$L'_{nT,w} < 58 \text{ dB}$	$L'_{nT,w} < 56 \text{ dB}$



Tabla 5.13. Para la verificación en fase de proyecto del tiempo de reverberación de recintos según DB HR (orientativo)

	TIPO DE RECINTO	TIEMPO DE REVERBERACIÓN		
	PERFÍL DE CALIDAD	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE
I.- EN AULAS, SALA DE CONFERENCIAS, COMEDORES Y RESTAURANTES	Aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación y sin mobiliario) cuyo volumen sea menor de 350 m ³ .	≤ 0.7 s	≤ 0.6 s	≤ 0.5 s
	<i>marcar lo que proceda</i>			
	PERFÍL DE CALIDAD	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE
	Aulas y salas de conferencias vacías (con el total de las butacas) cuyo volumen sea menor de 350 m ³ .	≤ 0.5 s	≤ 0.45 s	≤ 0.4 s
	<i>marcar lo que proceda</i>			
	PERFÍL DE CALIDAD	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE
	En restaurantes y comedores vacíos	≤ 0.9 s	≤ 0.8 s	≤ 0.7 s
	<i>marcar lo que proceda</i>			
	PERFÍL DE CALIDAD	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE
II.- ZONA COMÚN DE UN EDIFICIO DE USO RESIDENCIAL, HOSPITALARIO O DOCENTE COLINDANTE CON RECINTOS HABITABLES CON LOS QUE COMPARTEN PUERTAS	Absorción acústica equivalente por cada m ³ del volumen del recinto.	A ≥ 0.2 m²	A ≥ 0.3 m²	A ≥ 0.4 m²
	<i>marcar lo que proceda</i>			
	PERFÍL DE CALIDAD	BASICO	NOTABLE	EXCELENTE



5.6. Soluciones constructivas para fachadas.

A continuación se aportan algunas soluciones viables para fachadas no ventiladas, de doble hoja y con material aislante interpuesto, es decir, el tipo de fachada que puede considerarse como clásica.

El aislamiento de fachadas a ruido aéreo resulta **especialmente complejo**, debido a la circunstancia de que el ruido exterior puede ser muy distinto en dos zonas de la misma ciudad. Además, la fachada incorpora huecos para la carpintería exterior que se convierten casi siempre en elementos débiles en cuanto a su capacidad como aislantes acústicos. Por último, los niveles de aislamiento exigidos también dependen del uso del edificio y del tipo de dependencia.

De todos los aspectos mencionados, para un correcto aislamiento acústico a ruido aéreo de una fachada, el más importante es **conocer previamente el nivel de ruido exterior de la zona**, dato que no siempre estará disponible. Teniendo en cuenta este conjunto de circunstancias, las soluciones que se aportan a continuación no serán aplicables a zonas donde el nivel de ruido exterior supere el valor tomado como referencia para dichas soluciones.

Las condiciones fijadas para las soluciones son:

Tipo de edificio: Residencial

Tipo de estancia: Dormitorio

Porcentaje de hueco para ventanas y cajonera de persianas: entre 16% y 30%

Nivel de ruido exterior: entre $65 \leq L_d \leq 70$

Se establecen por lo tanto, las posibles soluciones para cada uno de los tres niveles del perfil de calidad. Para las distintas fachadas se define el aislamiento que debe tener la parte ciega y la carpintería. Se ha optado por un sistema constructivo de dos hojas, una de ellas de ladrillo perforado y otra de ladrillo hueco con material aislante (lana de roca) interpuesto entre ambas hojas.



5.6.1. Solución para el nivel de exigencia básico

($D_{2m,nT,Atr} = 37$ dBA).

Descripción: Fábrica con o sin revestimiento, con cámara de aire no ventilada y aislamiento por el interior. La hoja exterior de ladrillo perforado revestida por el interior, la hoja interior de ladrillo hueco enlucida o enfoscada y el material aislante interpuesto de lana de roca. La densidad del material aislante de 70 Kg/m^3 resulta adecuada. Las características dimensionales del sistema constructivo se muestran en la siguiente figura.

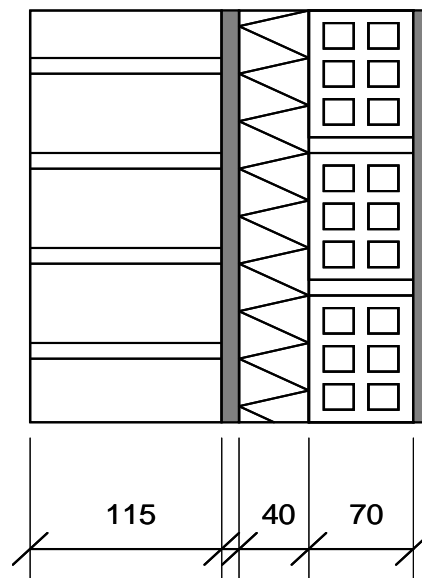


Figura 5.3. Esquema pared nivel básico.

Ventanas batientes sin capialzado o con el capialzado por el exterior. Se requiere doble acristalamiento con espesores del vidrio de 4 y 6 mm. Espacio de separación entre hojas de 15 mm.

5.6.2. Solución para el nivel de exigencia notable

($D_{2m,nT,Atr} = 39$ dBA).

Descripción: Fábrica con o sin revestimiento, con cámara de aire no ventilada y aislamiento por el interior. La hoja exterior de ladrillo perforado revestida por el interior, la hoja interior de ladrillo hueco enlucida o enfoscada y el material aislante interpuesto de lana de roca. La densidad del material aislante de 70 Kg/m^3 resulta adecuada. Las características dimensionales del sistema constructivo se muestran en la siguiente figura.



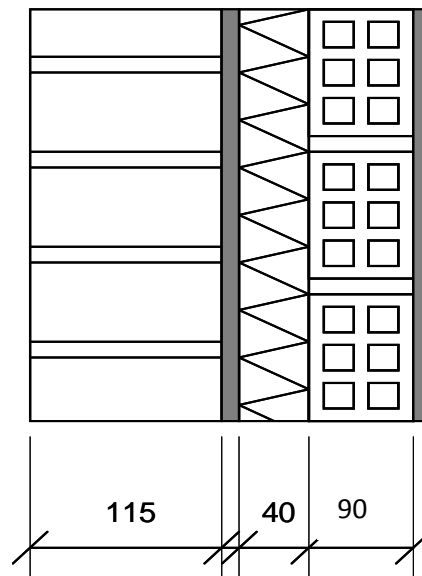


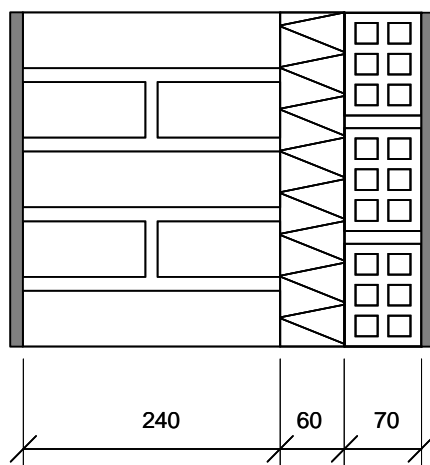
Figura 5.4. Esquema pared nivel notable.

Ventanas batientes sin capialzado o con el capialzado por el exterior. Se requiere doble acristalamiento con espesores del vidrio de 4 y 10 mm. Espacio de separación entre hojas de 15 mm.

5.6.3. Solución para el nivel de exigencia excelente

($D_{2m,nT,Atr} = 42$ dBA).

Descripción: Fabrica con o sin revestimiento, con cámara de aire no ventilada y aislamiento por el interior. La hoja exterior de ladrillo perforado revestida por el interior, la hoja interior de ladrillo hueco enlucida o enfoscada y el material aislante interpuesto de lana de roca. La densidad del material aislante de 105 Kg/m^3 resulta adecuada. Las características dimensionales del sistema constructivo se muestran en la siguiente figura.



Ventanas batientes sin capialzado o con el capialzado por el exterior. Se requiere doble acristalamiento con espesores del vidrio de 6 y 10 mm. Espacio de separación entre hojas de 15 mm. Si es con capialzado este debe forrarse interiormente con material aislante (25 mm de espesor).

Figura 5.5. Esquema pared nivel excelente.



5.7. Soluciones para elementos de separación vertical medidas in situ.

Las soluciones recogidas en el Catálogo de Elementos constructivos pueden utilizarse con garantías debido a que son valores mínimos de aislamiento y como ya se ha comentado son bastantes razonables y ajustados a los valores que se están obteniendo en medidas in situ. No obstante, en el presente proyecto se aportan tres soluciones constructivas que han sido verificadas in situ.

5.7.1. Solución para el nivel de exigencia básico.

La siguiente solución constructiva cumple de forma ajustada la exigencia de aislamiento a ruido aéreo para elementos separadores verticales entre recintos de distinto uso, según el Documento Básico HR Protección frente al Ruido del CTE (50 dBA). El hecho que sea una solución de mínimos requiere una ejecución correcta del sistema constructivo.

Descripción: Doble hoja de ladrillo hueco de 9 cm y 7 cm de espesor con lana de roca interpuesta de 4 cm de espesor. Se requiere colocar una banda elástica perimetral en la hoja de ladrillo de 7 cm para desacoplar esta hoja del suelo, techo y tabiques de encuentro. También se requiere enlucido de una de las caras interiores de la doble hoja o bien utilizar un mortero adhesivo para la lana de roca que haga la misma función y sirva para fijar el material aislante. La densidad del material aislante de 70 Kg/m³ resulta adecuada. Las densidades superficiales de los tabiques de ladrillo de 9 y de 7 cm deben ser al menos de 105 Kg/m² y 85 Kg/m² respectivamente. Ambas caras del elemento separador enlucidas.



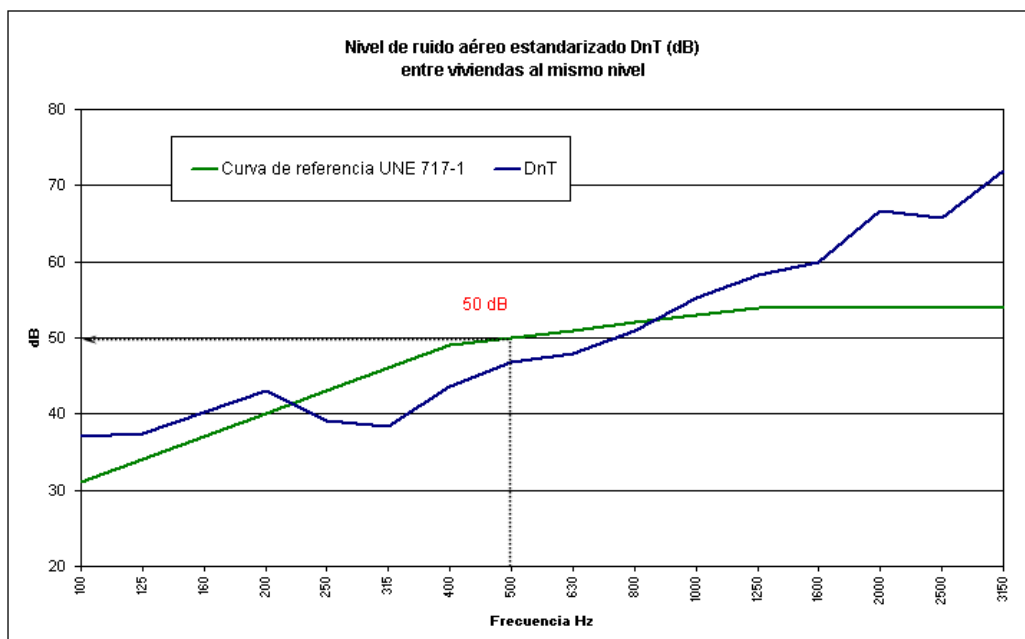


Gráfico 5.1. Gráfica en caso de exigencia básica.

En el gráfico anterior se puede apreciar el espectro de la diferencia de niveles estandarizada.

5.7.2. Solución para el nivel de exigencia notable.

La siguiente solución constructiva cumple de forma ajustada la exigencia de aislamiento a ruido aéreo para elementos separadores verticales entre recintos de distinto uso, para un nivel de exigencia notable.

Descripción: Doble hoja de ladrillo hueco de 7 cm de espesor con lana de roca interpuesta de 4 cm de espesor. Se requiere colocar una banda elástica perimetral en las dos hojas de ladrillo para desacoplarlas del suelo, techo y tabiques de encuentro. También se requiere enlucido de una de las caras interiores de la doble hoja o bien utilizar un mortero adhesivo para la lana de roca que haga la misma función y sirva para fijar el material aislante. La densidad del material aislante de 70 Kg/m^3 resulta adecuada. Las densidades superficiales de los tabiques de ladrillo de 7 cm deben ser al menos de 85 Kg/m^2 . Ambas caras del elemento separador enlucidas.

En la siguiente figurase aprecia el sistema constructivo para esta solución.



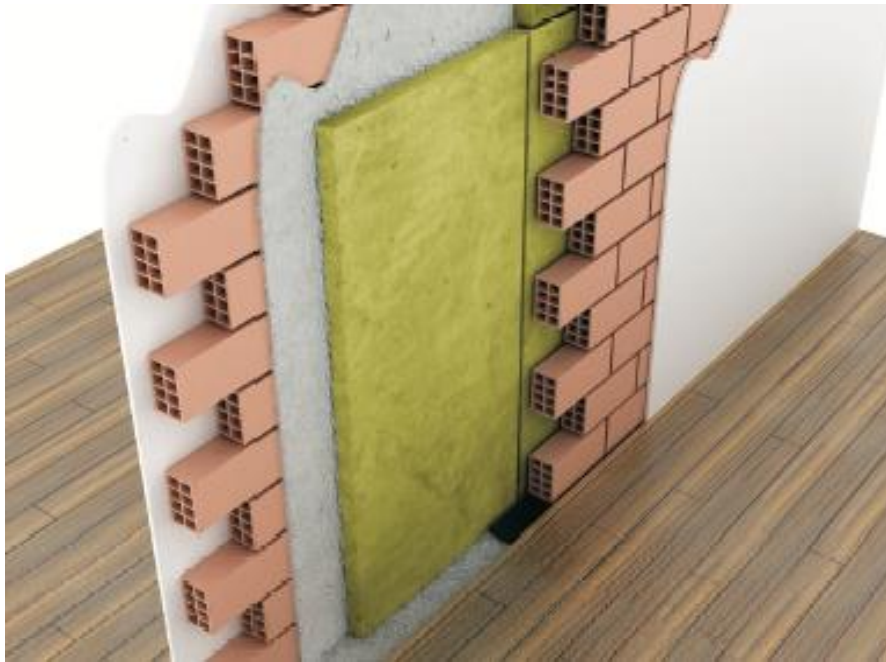


Figura 5.6. Estructura recinto nivel notable.

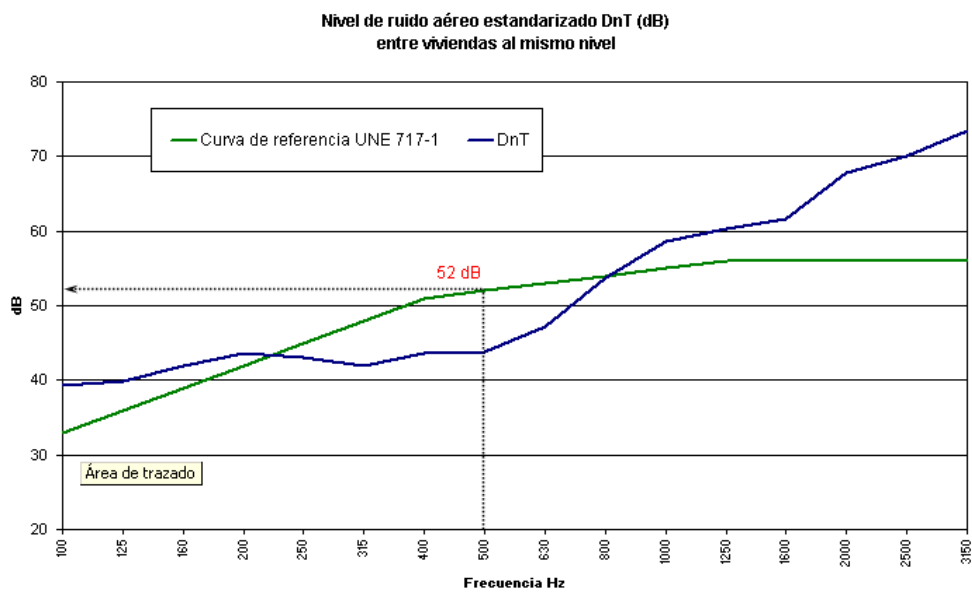


Gráfico 5.2. Gráfica en caso de exigencia notable.

En el gráfico anterior se aprecia el espectro de la diferencia de niveles estandarizada para esta solución constructiva.

5.7.3. Solución para el nivel de exigencia excelente.

Las medidas in situ de la solución constructiva que define este nivel de máxima exigencia, aún no ha sido realizada, debido a que las viviendas aún no se han



construido. No obstante, se aporta la solución pendiente de ensayo con la estimación de su Índice Global de Reducción Acústica ponderado A.

Descripción: Doble hoja de ladrillo hueco de 9 cm de espesor con lana de roca interpuesta de 4 cm de espesor. Se requiere colocar una banda elástica perimetral en las dos hojas de ladrillo para desacoplarlas del suelo, techo y tabiques de encuentro. También se requiere enlucido de una de las caras interiores de la doble hoja o bien utilizar un mortero adhesivo para la lana de roca que haga la misma función y sirva para fijar el material aislante. La densidad del material aislante de 70 Kg/m^3 resulta adecuada. Las densidades superficiales de los tabiques de ladrillo de 9 cm deben ser al menos de 105 Kg/m^2 cada una. Ambas caras del elemento separador enlucidas.

El Índice Global de Reducción Acústica ponderado A previsto es de $R'_A = 56$ dBA.

5.8. Valor ponderado del perfil de calidad en fase de proyecto.

En el presente capítulo se ha planteado con un sistema escalonado y lineal para definir los tres niveles del perfil de calidad (básico, notable y excelente) según el documento básico HR de protección frente al ruido. Con el fin de establecer criterios ponderados (o de peso) para cada una de las exigencias de los elementos separadores, parece adecuado establecer una formulación que permita obtener un nivel global a partir de valores medios. La mejor forma de obtener este índice de calidad global es estableciendo una serie de coeficientes de ponderación, como por ejemplo:



RUIDO AÉREO	HABITABLE PROTEGIDO	HABITABLE NO PROTEGIDO
I Misma unidad de uso	A10=10%	A11=2,5%
II Otras unidades de uso	A20=15%	A21=2,5%
III Instalaciones y recintos de actividad	A30=10%	A31=5%
IV Fachadas	A40=20%	-
V Con otros edificios	A50=10%	-
RUIDO DE IMPACTOS	HABITABLE PROTEGIDO	HABITABLE NO PROTEGIDO
I Otras unidades de uso	I10=10%	-
II Instalaciones y recintos de actividad	I20=10%	I21=5%

Tabla 5.14. Coeficientes a partir de valores medios.

Para obtener el **índice global ponderado** se determina cada uno de los **valores medios de mejora para: tabiquería, medianeras, fachadas, forjados (ruido aéreo) y forjados (ruido de impactos), tanto para recintos protegidos como no protegidos**. Cada uno de estos elementos se multiplica por el coeficiente asignado en tanto por uno y se divide por el número de elementos considerados. Obteniéndose un valor global en función de la importancia del elemento separador y del tipo de ruido a proteger.

Los **coeficientes han sido fijados en función del grado de mejora** que se introduce en el documento básico HR para cada elemento separador. Debido a que el elemento menos beneficiado en cuanto a mejora de aislamiento acústico ha sido la fachada, se ha considerado dar más peso a las mejoras de aislamiento de este elemento por medio del coeficiente de ponderación (20%). El siguiente coeficiente de ponderación más alto es para los elementos separadores entre viviendas, por ser este elemento el que más insatisfacciones de aislamiento genera en los usuarios de las viviendas. Al aislamiento a ruido de impactos ha sido ponderado con un coeficiente menor debido a que su exigencia es mucho más severa en el DB HR que en la antigua NBE CA-88



5.8.1. Ejemplo de cálculo del nivel global del perfil de calidad.

A continuación se muestra un ejemplo para calcular el nivel global del perfil de calidad a partir de los niveles de aislamiento proyectados para cada elemento separador vertical y horizontal. La siguiente tabla contiene la información de los niveles de aislamiento, nivel del perfil de calidad con su puntuación correspondiente y el coeficiente de ponderación de cada elemento separador.

RUIDO AÉREO	HABITABLE PROTEGIDO	Coeficiente ponderación	HABITABLE NO PROTEGIDO	Coeficiente ponderación
I Misma unidad de uso	33 dBA Nivel básico: 1 punto	10%	33 dBA Nivel básico: 1 punto	2,5%
II Otras unidades de uso	52 dBA Nivel notable: 2 puntos	15%	47 dBA Nivel notable: 2 puntos	2,5%
III Instalaciones y recintos de actividad	57 dBA Nivel notable: 2 puntos	10%	47 dBA Nivel notable: 2 puntos	5%
IV Fachadas	34 dBA (Ld < 60) Nivel excelente: 3 puntos	20%	-	
V Con otros edificios	42 dBA Nivel notable: 2 puntos	10%	-	
RUIDO DE IMPACTOS	HABITABLE PROTEGIDO		HABITABLE NO PROTEGIDO	
I Otras unidades de uso	65 dBA Nivel básico: 1 punto	10%	-	
II Instalaciones y recintos de actividad	60 dBA Nivel básico: 1 punto	10%	60 dBA Nivel básico: 1 punto	5%

Tabla 5.15. Coeficientes para el cálculo del nivel global.

Para obtener el valor definitivo, se obtiene el valor medio ponderado para los 11 tipos de elementos de separación considerados.

$$NGPC = \frac{1 \times 10 + 1 \times 2,5 + 2 \times 15 + 2 \times 2,5 + 2 \times 10 + 2 \times 5 + 3 \times 20 + 2 \times 10 + 1 \times 10 + 1 \times 10 + 1 \times 5}{100} = 1,825$$



Finalmente para obtener el nivel global del perfil de calidad (NGPC) se redondea al entero más próximo, es decir $NGPC=2$, obteniéndose un nivel notable. Apréciase que se ha mejorado un nivel (notable) sobre el básico el aislamiento con otras unidades de uso, con los recintos de instalación y con otros edificios. Mientras que la fachada ha sido mejorada dos niveles (excelente). El resto de elementos separadores mantienen las exigencias del nivel básico.

5.9. Verificación en obra terminada.

Un proceso de medida exhaustivo de los niveles de aislamiento acústico de una promoción de viviendas puede llegar a ser muy laborioso y costoso. Por ello, es necesario establecer una serie de **criterios que aporten una imagen fiel de la calidad de la edificación**, verificándose de esta manera el cumplimiento del perfil de calidad pretendido con una dedicación temporal razonable y con un coste económico asumible.

Por lo tanto, es necesario definir los elementos divisorios a evaluar y el número de ellos entre la totalidad de la promoción de viviendas. Parece razonable **medir el aislamiento de aquellos parámetros más sensibles** en cuanto a la definición global del grado de calidad y confort acústico de una determinada unidad de uso. Se ha considerado que para proteger adecuadamente frente al ruido una vivienda es necesario verificar como mínimo los elementos separadores verticales y horizontales que dividen unidades de distinto uso o que protegen del ruido exterior o del ruido generado por las instalaciones del edificio. Además, en las medidas se tiene que determinar no solamente los parámetros que definen el aislamiento a ruido aéreo, sino también relacionados con la protección a ruido de impactos.

En cuanto al número de ensayos de cada tipo de elemento separador, se establece un porcentaje representativo y al azar del total de la promoción de viviendas, contemplándose un ensayo por cada elemento separador cuando dicha promoción esté constituida por un número igual o menor a diez viviendas.



Tipos de elementos separadores a verificar:

- Elementos separadores verticales de distintas unidades de uso (medianeras entre viviendas).
- Elementos verticales de fachada.
- Elementos separadores horizontales a distinto nivel (ruido aéreo y de impactos).
- Elementos separadores horizontales mismo nivel (ruido de impactos).
- Elementos de separación de recintos de instalación a ruido aéreo y de impactos (solo si existen viviendas colindantes).

Número de ensayos a realizar:

- Cuando el número de viviendas de la promoción sea **igual o menor a diez**, **se ensayará un elemento separador de cada tipo seleccionado al azar** de entre la totalidad de las viviendas.
- Cuando el número de viviendas de la promoción sea **mayor a diez**, se ensayará el **10% del total** de cada uno de los elementos separadores, seleccionados al azar de entre las viviendas de la promoción.

A continuación se muestra el formulario a rellenar y un ejemplo:



PERFIL DE CALIDAD EN LA EDIFICACIÓN DE LA REGIÓN DE MURCIA									
Requisito	HR	Prestación	MHR	VERIFICACIÓN					
				Fase			Obra terminada		
VIVIENDA									
Datos proyecto	Nombre								
	Emplazamiento		Nº Expediente						
Datos proyectista	Nombre, apellidos		Nº Colegiado						
Datos técnico verificador	Nombre, apellidos		Nº Colegiado						
VERIFICACIÓN IN SITU DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO									
Muestra	Tipo	Localización vivienda	Parámetro	L_d (fachadas)	Nivel Perfil Projectado	Nivel Aisl. Mínimo	Valor medio	Nivel perfil verificado	
M1									
M2									
M3									
M4									
En a de de			Enterada						
Fdo. Técnico verificador			Dirección Facultativa						

Tabla 5.16. Ficha a rellenar en obra terminada.



5.9.1 Ejemplo de Verificación de obra terminada.

VERIFICACIÓN IN SITU DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO								
Muestra	Tipo	Localización vivienda	Parámetro	L_d (fachadas)	Nivel Perfil Projectado	Nivel Aisla. Mínimo	Valor medio	Nivel perfil verificado
M1	Fachada	Nº3 Esc.1 vivienda 2ºA	$D_{2m,nT,Atr}$	<60 dB mapa	NOTABLE	32 dB	32dB	NOTABLE
M2	Unidades distinto uso	Nº3 Esc.2 viviendas 3ºA y 3ºB	$D_{nT,A}$	No procede	NOTABLE	52dB	51 dB	BÁSICO

Tabla 5.17. Ejemplo ficha verificación obra terminada.

Valor ponderado del requisito HR en fase de obra terminada.

RUIDO AÉREO	HABITABLE PROTEGIDO	HABITABLE NO PROTEGIDO
I Misma unidad de uso	A10=10%	A11=2,5%
II Otras unidades de uso	A20=15%	A21=2,5%
III Instalaciones y recintos de actividad	A30=10%	A31=5%
IV Fachadas	A40=20%	-
V Con otros edificios	A50=10%	-
RUIDO DE IMPACTOS	HABITABLE PROTEGIDO	HABITABLE NO PROTEGIDO
I Otras unidades de uso	I10=10%	-
II Instalaciones y recintos de actividad	I20=10%	I21=5%

Tabla 5.18. Porcentajes ejemplo obra terminada.



Cálculo del nivel global del perfil de calidad.

RUIDO AÉREO	HABITABLE PROTEGIDO	Coficiente ponderación	HABITABLE NO PROTEGIDO	Coficiente ponderación
I Misma unidad de uso	-	10%	-	2,5%
II Otras unidades de uso	52 dBA Nivel notable: 2 puntos	15%	47 dBA Nivel notable: 2 puntos	2,5%
III Instalaciones y recintos de actividad	-	10%	47 dBA Nivel notable: 2 puntos	5%
IV Fachadas	34 dBA (Ld < 60) Nivel excelente: 3 puntos	20%	-	
V Con otros edificios		10%	-	
RUIDO DE IMPACTOS	HABITABLE PROTEGIDO		HABITABLE NO PROTEGIDO	
I Otras unidades de uso	65 dBA Nivel básico: 1 punto	10%	-	
II Instalaciones y recintos de actividad	-	10%	60 dBA Nivel básico: 1 punto	5%

Tabla 5.19. Datos cálculo nivel global obra terminada.

Para obtener el valor definitivo, se obtiene el valor medio ponderado para los 7 tipos de elementos de separación considerados.

$$NGPC = \frac{2 \cdot 15 + 2 \cdot 2,5 + 2 \cdot 5 + 3 \cdot 20 + 1 \cdot 10 + 1 \cdot 5}{57,5} = 2,08$$

Finalmente, para obtener el Nivel Global del Perfil de Calidad (NGPC) se redondea al entero más próximo, es decir $NGPC = 2$, obteniéndose un Nivel Notable para obra terminada.



Capítulo 6

Procedimientos de medida

6.1. UNE-EN ISO 140-4.

Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición “in situ” del aislamiento al ruido aéreo entre locales (ISO 140-4:1998)

Esta parte de la Norma ISO 140 especifica los métodos aplicables in situ para medir las propiedades de aislamiento acústico al ruido aéreo de las paredes interiores, de los techos y de las puertas entre dos recintos en condiciones de campo sonoro difuso, y para determinar la protección aportada a los ocupantes del edificio.

Estos métodos proporcionan los valores del aislamiento acústico al ruido en función de la frecuencia. Los valores pueden transformarse en un número único, que caracteriza sus cualidades acústicas, al aplicar la Norma ISO 717-1.

Los resultados obtenidos pueden utilizarse para comparar el aislamiento acústico entre recintos y para comparar aislamientos acústicos reales medidos, con los valores requeridos.

6.1.1. Definiciones.

Las fórmulas a aplicar están desarrolladas en el capítulo 3, por lo que se indican cuál de estas hay que tener en cuenta:

- Nivel medio de presión sonora en un recinto, L .
- Diferencia de niveles, D .
- Diferencia de niveles normalizada, D_n .
- Diferencia de niveles estandarizada, D_{nT} .
- Índice de reducción sonora aparente, R' .

6.1.2. Disposición del ensayo.

Las mediciones entre recintos vacíos de idéntico tamaño y de las mismas dimensiones deberían efectuarse preferentemente con difusores en cada uno de los



recintos (por ejemplo, mobiliario, tableros prefabricados). El **área de cada difusor debería ser de al menos 1,0 m²**, tres o cuatro objetos será normalmente suficiente.

6.1.3. Proceso y evaluación del ensayo.

Las mediciones in situ de aislamiento acústico al ruido aéreo deben realizarse en bandas de tercio de octava, a menos que antes se haya convenido realizar las medidas en bandas de octava. El procedimiento a seguir en caso de mediciones por bandas de octava se especifica más adelante. Cuando los resultados obtenidos de mediciones por bandas de octava sean convertidos en magnitudes de un número único, estos resultados no son directamente comparables con los obtenidos a partir de medidas efectuadas por tercios de octava.

Generación del campo sonoro en el recinto emisor.

El **sonido generado** en el recinto emisor debe ser **estacionario y debe tener un espectro continuo en el rango de frecuencia considerado**. Si se utilizan **filtros**, éstos deben tener un **ancho de banda de tercio de octava como mínimo**. Si se utiliza un **ruido de banda ancha**, el espectro puede conformarse para asegurar una relación señal-ruido adecuada en altas frecuencias en el recinto receptor (se recomienda ruido blanco). En cualquier caso, el espectro sonoro en el recinto emisor no debe tener diferencias de nivel mayores de 6 dB entre bandas de tercio de octava adyacentes.

La **potencia sonora** debería ser lo suficientemente alta como para que el nivel de presión sonora en el recinto receptor sea, al menos, **10 dB más alto que el nivel de ruido de fondo en cualquier banda de frecuencia**. Si esto no se cumple, se deben aplicar las correcciones oportunas.

Si la **fente sonora** contiene **más de un altavoz** funcionando simultáneamente, los altavoces deben estar **conectados en fase** o se deberá asegurar que la radiación es uniforme y omnidireccional. Se permite el uso de múltiples fuentes sonoras a la vez, siempre que sean del **mismo tipo y sean excitadas con el mismo nivel** mediante señales similares pero no correlacionadas entre sí. Cuando se utilice una sola fuente, debería utilizarse en, al menos, dos posiciones. Si los recintos tienen diferentes volúmenes, el de mayor tamaño debería elegirse como recinto emisor, cuando se evalúe la diferencia de nivel estandarizada, siempre que no se acuerde de lo contrario. Para evaluar la medida del índice de reducción sonora aparente, pueden emplearse los resultados obtenidos de medidas en una dirección o en ambas direcciones. Ello significa



que las posiciones de los altavoces deberán estar en el mismo recinto o que las medidas se deberán repetir en la dirección opuesta, cambiando los recintos emisor y receptor, con una o más posiciones de fuente en cada recinto.

Debe situarse la fuente sonora de tal forma que se cree un campo sonoro tan difuso como sea posible y a una distancia tal del elemento constructivo separador y de los elementos laterales que puedan influenciar la transmisión, de manera que la radiación directa sobre ellos no sea dominante. **Los campos sonoros en los recintos dependen en gran medida del tipo y de la posición de la fuente sonora.** La calificación de los altavoces y de sus posiciones se debe llevar a cabo según los procedimientos descritos más adelante.

6.1.4. Medición del nivel medio de presión sonora.

Se obtiene el nivel medio de presión sonora mediante un único micrófono situado sucesivamente en cada posición, o mediante un conjunto de micrófonos fijos, o mediante un micrófono en movimiento continuo o mediante un micrófono oscilante. Los niveles de presión sonora en las diferentes posiciones de micrófono deben promediarse de forma energética para todas las posiciones de micrófono.

Posiciones de micrófono

0,7 m entre posiciones de micrófono.

0,5 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes del recinto o difusores.

1,0 m entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora.

Siempre que sea posible deberían superarse estas distancias.

a) Posiciones de micrófono fijas.

Se debe utilizar un mínimo de cinco posiciones fijas que se deberán distribuir uniformemente a los largo de todo el espacio útil en cada recinto.

b) Posiciones de micrófono móvil.

Cuando se utilice un micrófono móvil, el radio de barrido debe ser al menos 0,7 m. El plano de la trayectoria deberá estar inclinado con objeto de cubrir una gran parte del espacio útil del recinto. El plano de la trayectoria no deberá formar ángulos menos



de 10⁰ con cualquier superficie del recinto (paredes, techo, suelo). La duración de un período no deberá ser inferior a 15 s.

Medición.

a) Utilizando una única fuente sonora.

El número mínimo de medidas empleando posiciones fijas de micrófono es diez (por ejemplo, una medida en cada posición de micrófono para cada posición de altavoz).

El número mínimo de medidas empleando un micrófono móvil es dos (por ejemplo, una medida con cada posición de altavoz).

b) Utilizando una fuente sonora múltiple actuando simultáneamente.

El número mínimo de medidas empleando posiciones fijas de micrófono es cinco.

El número mínimo de medidas empleando un micrófono móvil es una.

Tiempo de promediado.

Para cada posición individual de micrófono, el tiempo de promediado debe ser, al menos, 6 s en cada banda de frecuencia con frecuencias centrales menores que 400 Hz. Para bandas de frecuencias centrales mayores se permite disminuir el tiempo a no menos de 4 s. Utilizando un micrófono móvil el tiempo de promediado debe cubrir un número entero de vueltas y no debe ser menor de 30 s.

6.1.5. Rango de frecuencias de las mediciones.

El nivel de presión sonora debe medirse utilizando **filtros de tercio de octava** teniendo al menos las siguientes frecuencias centrales, en hercios:

100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1000
1250 1600 2000 2500 3150

Para obtener información adicional además de obtener resultados comparables con medidas efectuadas en laboratorio de acuerdo con la Norma ISO 140-3, se **recomienda ampliar el rango de frecuencias de las medidas por bandas de tercio de octava**, con las siguientes frecuencias centrales, en hercios:



4000 5000

Si se requiere **información adicional en el rango de bajas frecuencias**, deben utilizarse filtros de tercio de octava con las siguientes frecuencias centrales, en hercios:

50 63 80

Más adelante se dan directrices para tales mediciones en bandas de baja frecuencia. Será necesaria la **medición del tiempo de reverberación y la evaluación del área de absorción acústica equivalente**, así como corregir el ruido de fondo, con las fórmulas expuestas en el tercer capítulo.

6.1.6. Precisión.

El procedimiento de medida debe proporcionar una **repetibilidad satisfactoria**. Esto deberá ser determinado de acuerdo con el método establecido en la Norma 140-2 y debería ser **verificado de forma periódica**, particularmente cuando se realice algún cambio en el procedimiento o en la instrumentación.

6.1.7. Expresión de los resultados.

Para el informe del aislamiento acústico al ruido aéreo entre recintos, se deben dar los valores de la diferencia de nivel normalizada D_n , la diferencia de nivel estandarizada D_{nT} o el índice de reducción sonora aparente R' , para todas las frecuencias de medida, con una cifra decimal, de forma tabular y en forma gráfica. Las **gráficas** en el informe del ensayo deberán **mostrar el valor en decibelios dibujando en función de la frecuencia**, ésta última en escala logarítmica, además se deberán utilizar las siguientes dimensiones:

- 5 mm para la banda de un tercio de octava.
- 20 mm para 10 dB.

Es preferible el uso de un modelo de impreso, siendo una versión reducida del informe de ensayo, proporciona toda la información de importancia relativa al objeto de ensayo, procedimiento de ensayo y resultados del ensayo.

Cuando se calculen los valores de D_n , D_{nT} o R' en bandas de octava a partir de los resultados de los valores obtenidos por bandas de tercio de octava, deberán emplearse las siguientes expresiones:



$$D_{n,\text{oct}} = -10 \lg \left(\sum_{j=1}^3 \frac{10^{-D_{n,1/3\text{oct},j}/10}}{3} \right) \text{ dB}$$

$$D_{nT,\text{oct}} = -10 \lg \left(\sum_{j=1}^3 \frac{10^{-D_{nT,1/3\text{oct},j}/10}}{3} \right) \text{ dB}$$

$$R'_{\text{oct}} = -10 \lg \left(\sum_{j=1}^3 \frac{10^{-R'_{1/3\text{oct},j}/10}}{3} \right) \text{ dB}$$

Si se repite el procedimiento de ensayo para R' , ya sea en la misma dirección de medida o en la contraria, se deberá calcular la media aritmética de todos los resultados obtenidos para cada banda de frecuencia.

6.1.8. Calificación y posicionamiento de la fuente sonora.

Procedimientos de calificación para altavoces y para posiciones de altavoces relativas a las posiciones del micrófono.

El **objetivo** de estos requisitos es conseguir que el **campo sonoro en el recinto emisor** que es muestreado por los micrófonos, **sea lo más difuso posible**. Las posiciones y directividad de la fuente deben permitir que las posiciones de micrófono estén fuera del campo directo de la fuente y asegurar que la radiación directa de la fuente no sea dominante sobre la superficie de las paredes, suelos o techos que contribuyen a la transmisión sonora.

Posiciones de los altavoces con respecto a las posiciones de micrófono.

Debe asegurarse que las **posiciones de micrófono estén fuera del campo sonoro directo de la fuente**. Cada posición fija de micrófono debe encontrarse fuera de la zona en la cual los niveles disminuyen significativamente con la distancia a la fuente.

Cuando se utilice una **fuentes de radiación omnidireccional**, la distancia a un micrófono **no debe ser menor que 1 m**.

Para un micrófono móvil, no debe haber un incremento significativo de nivel cuando su trayectoria se acerque a la fuente.



Procedimiento de ensayo para la directividad de radiación del altavoz.

En todas las posiciones de la fuente en el espacio libre del recinto, los altavoces deberían usarse con sus transductores montados en una caja cerrada. Todos los transductores de una misma caja deben radiar en fase.

Una **aproximación adecuada de radiación omnidireccional uniforme** consiste en **montar los altavoces** en las superficies de un poliedro, preferiblemente un **dodecaedro**. La radiación omnidireccional puede también conseguirse con un altavoz poliédrico semiesférico (montado directamente sobre el suelo). Se llevarán a cabo, en este caso, medidas verticales desde el recinto inferior al superior.

Para la **medición de la radiación direccional de una fuente**, se miden los **niveles de presión sonora alrededor de la fuente** a una distancia aproximada de **1,5 m** en campo libre. La fuente debe ser excitada con una señal de ruido y se realizarán las medidas en bandas de tercio de octava. Se mide la diferencia de niveles entre el valor energético medio para un ángulo de 360° (L_{360}) y los valores medios “deslizantes” de todos los ángulos de 30° ($L_{30,i}$).

Los índices de directividad son:

$$DI_i = L_{360} - L_{30,i}$$

Se puede **suponer** que la **radiación es omnidireccional y uniforme** si los valores están dentro de los límites de ± 2 dB a ± 8 dB para frecuencias de 1000 Hz a 5000 Hz.

El ensayo se lleva a cabo en los distintos planos para asegurarse la inclusión del “peor caso”. Para una fuente poliédrica, el ensayo en un solo plano es suficiente.

Directrices para la selección de las posiciones óptimas de la fuente.

La conveniencia de las **posiciones de la fuente depende tanto de las características de radiación del altavoz como de las posiciones de micrófono** (o del recorrido del micrófono en caso de emplear un micrófono móvil).

La distancia entre las **distintas posiciones del altavoz no debe ser inferior a 0,7 m.**



Al menos dos posiciones deben encontrarse a no menos de 1,4 m.

La **distancia entre los bordes del recinto y el centro de la fuente no debe ser menor que 0,5 m**. Pequeñas irregularidades de los límites del recinto pueden despreciarse.

Las **diferentes posiciones del altavoz no** deben situarse en un **mismo plano paralelo a las paredes del recinto**.

Aunque se desvíe de los requisitos que se acaban de mencionar en cuanto a la distancia entre los límites de los recintos y la fuente, en la ejecución práctica de una medición, especialmente en recintos pequeños, a menudo es una ventaja emplear posiciones de altavoz en las esquinas del recinto emisor. Se tendrá especial cuidado en tener en cuenta la posible influencia de las transmisiones indirectas y el incremento de fluctuaciones de nivel indeseadas en el recinto emisor.

6.1.9. Informe del ensayo.

El informe de la medida debe contener:

- a) Una **referencia** a esta parte de la **norma ISO 140**.
- b) **Nombre del laboratorio** que ha llevado a cabo la medición.
- c) Nombre y dirección de la **organización o persona** que ordenó el ensayo (cliente).
- d) **Fecha** del ensayo.
- e) Descripción e identificación del **tipo de construcción del edificio** y de la **disposición del ensayo**.
- f) **Volúmenes de ambos recintos**.
- g) La **diferencia de niveles** normalizada D_n o la diferencia de niveles estandarizada D_{nT} entre los recintos o el índice de reducción sonora aparente R' del elemento separador en función de la frecuencia, el que sea más apropiado en cada caso.
- h) El **área S** empleada para la evaluación de R' .
- i) Una **breve descripción** de los detalles del **procedimiento** y del **equipo**.
- j) Indicaciones de los **resultados** que deben ser tomados como límites de la medida. Deberán ser dados como D_n , D_{nT} o $R' \geq \dots \text{dB}$. Esto se debe aplicar cuando el nivel de presión sonora en alguna banda no es medible a causa del ruido de fondo (acústico o eléctrico).



- k) Las **transmisiones indirectas** de la misma forma que R' . Debería indicarse claramente qué parte o partes de la potencia sonora transmitida está incluida en la medida de las transmisiones indirectas.

Para la evaluación de un índice global a partir de las curvas $D_n(f)$, $D_{nT}(f)$ y $R'(f)$, véase la norma ISO 717-1 que a continuación se desarrolla. Se debe indicar claramente que la evaluación se ha basado en un resultado obtenido mediante una medición in situ.

6.2. UNE EN-ISO 717-1.

La UNE – EN ISO 717 – 1: 1997 establece un método por el cual la dependencia frecuencial del **aislamiento a ruido aéreo** se puede convertir en un **sólo número** que caracteriza el comportamiento acústico global del paramento.

En el momento de su publicación, esta normativa aportó una metodología práctica de trabajo y una facilidad en el manejo de documentación, puesto que **reduce la cantidad de información a manejar** en los cálculos. Sin embargo, en el presente, dado que normalmente se trabaja mediante plataformas informáticas, es perfectamente posible utilizar la información de la medida en frecuencia, sin necesidad de aproximar el espectro de aislamiento medido por medio de curva de referencia alguna.

Posteriormente, serán **modificados** algunos de los textos de la norma la UNE EN-ISO 717-1: 1997 A1:2007, de la cual viene actualizada con la información correspondiente.

Teniendo en cuenta lo que presupone la norma y en vista del procedimiento a seguir para el cálculo de dicho aislamiento, cabe plantearse tres posibles problemas derivados de su uso:

1. **Distintos espectros** medidos pueden dar lugar al mismo valor de aislamiento global.
2. El valor de $D_{nT,w}$ se corresponde con el valor de **D_{nT} a 500 Hz** de la curva de referencia. Cuando el espectro medido, tiene exactamente la misma forma que la curva de referencia, el valor de $D_{nT,w} = D_{nT,cr}(500 \text{ Hz}) = D_{nT,em}(500 \text{ Hz}) + 2 \text{ dB}$, donde los subíndices “cr” y “em” hacen mención a la curva de referencia y al espectro medido. Este hecho, al menos, resulta paradójico.
3. Surge una **pérdida de información irreversible** por el hecho de aproximar el aislamiento global de un paramento a la curva que se facilita en la norma.



6.2.1. Definiciones.

Las definiciones y fórmulas a tener en cuenta, desarrolladas en el capítulo 3, utilizadas en este método de medida, son las siguientes:

- Magnitud global para la valoración del aislamiento a ruido aéreo.
- Término de adaptación al espectro.

Derivada de valores en bandas de tercio de octava	
Magnitud global	Término y símbolo
Índice ponderado de reducción sonora, R_w .	Índice de reducción sonora, R .
Diferencia de nivel normalizada ponderada de techos suspendidos, $D_{n,c,w}$.	Diferencia de nivel normalizada ponderada de techos suspendidos, $D_{n,c}$.
Diferencia de nivel normalizada ponderada de elementos (componentes)	Diferencia de nivel normalizada ponderada de componentes, $D_{n,c}$.

Tabla 6.1. Magnitudes globales de las propiedades de aislamiento a ruido aéreo de elementos de construcción.



Derivada de valores en bandas de octava o de tercio de octava	
Magnitud global	Término y símbolo
Índice ponderado de reducción sonora aparente R'_w	Índice ponderado de reducción sonora aparente R'
Índice ponderado de reducción sonora aparente $R'_{45^\circ,w}$	Índice ponderado de reducción sonora aparente R'_{45°
Índice ponderado de reducción sonora aparente $R'_{tr,s,w}$	Índice ponderado de reducción sonora aparente $R'_{tr,s}$
Diferencia de nivel normalizada ponderada $D_{n,w}$	Diferencia de nivel normalizada aparente D_n
Diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$	Diferencia de nivel estandarizada D_{nT}
Diferencia de nivel normalizada ponderada de elementos (componentes) $D_{Is,2m,nT,w}$ o $D_{tr,2m,nT,w}$	Diferencia de nivel estandarizada $D_{Is,2m,nT}$ o $D_{tr,2m,nT}$

Tabla 6.2. Magnitudes globales del aislamiento a ruido aéreo en edificios.

6.2.2. Procedimiento para la evaluación de magnitudes globales.

Los valores obtenidos conforme a las normas **internacionales se comparan con los valores de referencia** a las frecuencias de medición en el **rango de 100 Hz a 3150 Hz para bandas de tercio de octava y de 125 Hz a 2000 Hz para bandas de octava.**

Incluso deben calcularse dos términos de adaptación del espectro basados en **dos espectros típicos en los rangos** de frecuencia especificados anteriormente. Estos dos términos pueden complementarse opcionalmente con los términos de adaptación del espectro adicionales (si fuera necesario y si se dispone de datos para ello) cubriendo los rangos de frecuencia ampliados entre 50 Hz y 5000 Hz.



6.2.3. Valores de referencia.

Frecuencia Hz	Valores de referencia, dB	
	Bandas de tercio de octava	Bandas de octava
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1000	55	55
1250	56	
1600	56	
2000	56	56
2500	56	
3150	56	

Tabla 6.3. Valores de referencia para aislamiento a ruido aéreo.

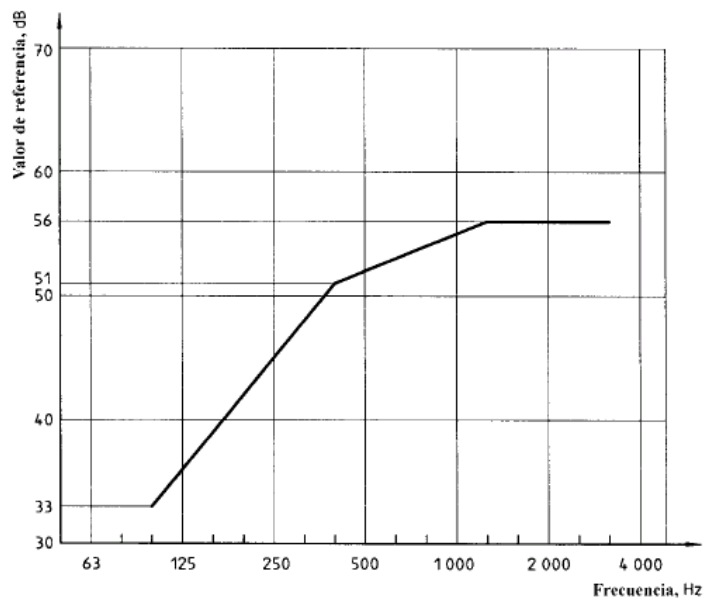


Gráfico 6.1. Valores de la curva de referencia para aislamiento a ruido aéreo, en bandas de tercio de octava.



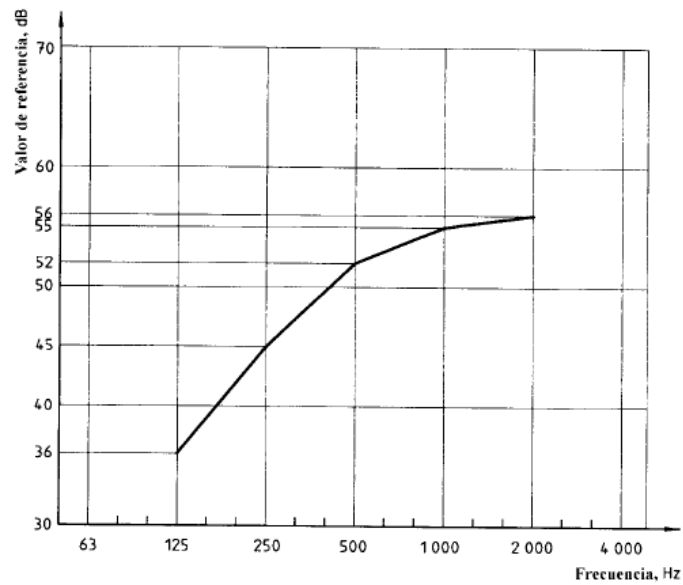


Gráfico 6.2. Valores de la curva de referencia para aislamiento a ruido aérea en bandas de octava.

6.2.3. Espectros sonoros.

La serie de los espectros sonoros en bandas de tercio de octava y en bandas de octava, para calcular los términos de adaptación espectral deben ser como los aportados en la tabla y figuras siguientes. Los espectros son ponderados A y el nivel global normalizado a 0 dB.



Frecuencia Hz	Niveles sonoros, L_{ij} , dB			
	Espectro 1 para calcular C		Espectro 2 para calcular C_{tr}	
	Tercio de octava	Octava	Tercio de octava	Octava
100	-29		-20	
125	-26	-21	-20	-14
160	-23		-18	
200	-21		-16	
250	-19	-14	-15	-10
315	-17		-14	
400	-15		-13	
500	-13	-8	-12	-7
630	-12		-11	
800	-11		-9	
1000	-10	-5	-8	-4
1250	-9		-9	
1600	-9		-10	
2000	-9	-4	-11	-6
2500	-9		-13	
3150	-9		-15	

Tabla 6.4. Espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación.

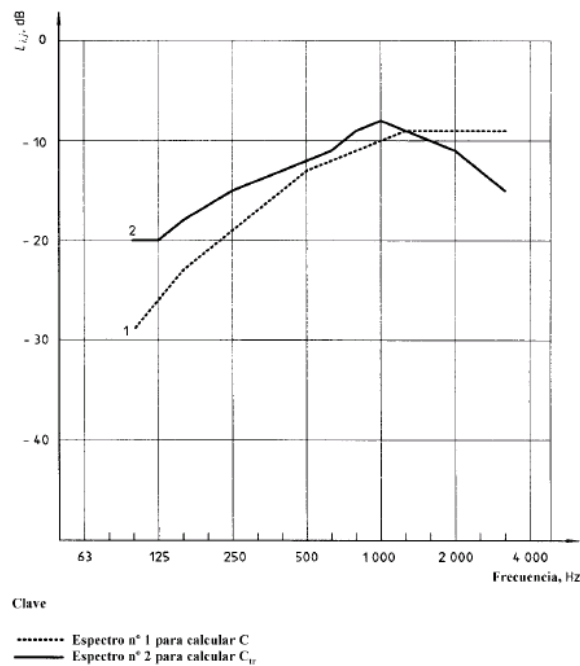


Gráfico 6.3. Espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación espectral para mediciones en bandas de tercio de octava.



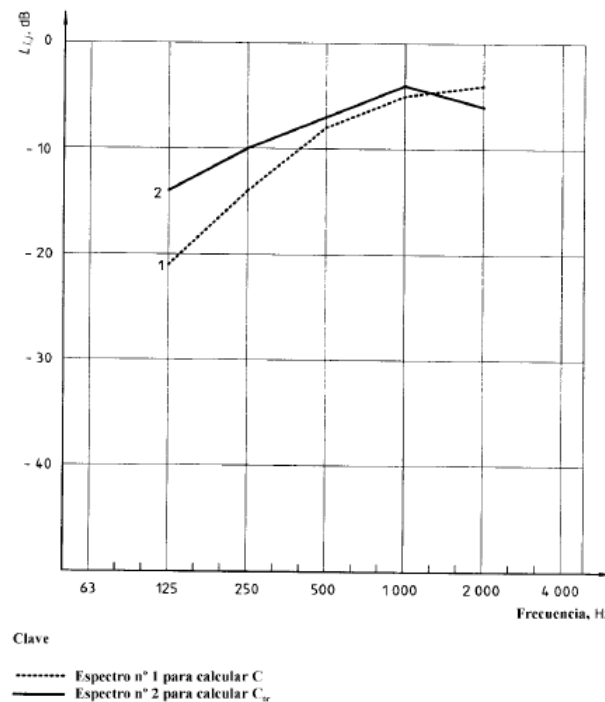


Gráfico 6.4. Espectros de nivel sonoro para calcular los términos de adaptación espectral para mediciones en bandas de octava.

6.2.4. Método de comparación.

Para valorar los resultados de una medición realizada de acuerdo normas internacionales en bandas de tercio de octava o en bandas de octava, los **datos** de la misma se deberán expresar **con una cifra decimal**. Se **desplazará la curva** de referencia de interés **en saltos de 1 dB** hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero **no mayor que 32 dB** (para mediciones en 16 bandas de tercio de octava) **o 10 dB** (para mediciones en 5 bandas de octava).

Se produce una desviación desfavorable en una determinada frecuencia cuando el resultado de las mediciones es inferior al valor de referencia. **Solo deben considerarse las desviaciones desfavorables.**

El valor en decibelios de la curva de referencia a 500 Hz, después del desplazamiento, de acuerdo con este procedimiento es el valor R_w , R_w' , $D_{n,w}$, o $D_{nT,w}$.

Solo se usarán los valores de referencia en bandas de octava para comparación con los resultados de las mediciones in situ en bandas de octava.



6.2.5. Cálculo de los términos de adaptación espectral.

Los términos de adaptación espectral, C_j , en decibelios, deben calcularse con los espectros sonoros dados, mediante la ecuación:

$$C_j = X_{Aj} - X_w$$

Donde,

j índice de los espectros sonoros números 1 y 2.

X_w valor del índice global calculado

X_{Aj} se calcular a partir de

$$X_{Aji} = -10 \lg \sum 10^{(L_{ij} - X_i)/10} \text{ dB}$$

Donde,

i índice para las bandas de tercio de octava o bandas de octava

L_{ij} niveles a la frecuencia i para el espectro j .

X_i índice de reducción sonora, R_i , o el índice de reducción sonora aparente, R'_i , o la diferencia normalizada de nivel sonoro, $D_{n,i}$, o la diferencia estandarizada de nivel sonoro, $D_{nT,i}$, a la frecuencia de medición i , expresado con una cifra decimal.

Se calcula el término de adaptación espectral con precisión de 0,1 dB y se redondea al valor entero más próximo. Debe identificarse de acuerdo al espectro usado, como sigue:

C cálculo con el espectro 1 (ruido rosa ponderado A).

C_{tr} cálculo con el espectro 2 (ruido de tráfico urbano ponderado A).



Término espectral para diferentes tipos de fuentes sonoras		
Fuente	C	C _{tr}
Actividades humanas	X	
Juegos de niños	X	
Trenes a velocidades medias y altas	X	
Autopista a más de 80 km/h	X	
Aviones a reacción a distancias cortas	X	
Factorías que emiten ruidos a medias y altas frecuencias	X	
Tráfico urbano		X
Trenes a velocidades bajas		X
Aviones de propulsión		X
Aviones a reacción a grandes distancias		X
Música de discotecas		X
Factorías que emiten a bajas y medias frecuencias		X

Tabla 6.5. Término espectral para diferentes tipos de fuentes sonoras.

6.2.6. Expresión de los resultados.

La magnitud global adecuada R_w , R'_w , $D_{n,w}$, o $D_{nT,w}$ y ambos términos de adaptación deben darse en relación a la ISO 717.

Expresión de las propiedades de los elementos de construcción.

Se calcula solamente las magnitudes globales a partir de los valores en bandas de tercio de octava. Se expresan los dos términos de adaptación espectral, entre paréntesis, a continuación de la magnitud global, separados por punto y coma.

Ejemplo: $R_w (C; C_{tr}) = 41 (0; -5) \text{ dB}$

Expresión de los requisitos y de las propiedades de los edificios.

Los requisitos deben establecerse mediante la magnitud global o estar basados en la suma de este valor y el término de adaptación espectral adecuado.

Ejemplos: $R'_w + C_{tr} \geq 45 \text{ dB}$ (para fachadas)



$$D_{nT,w} + C \geq 54 \text{ dB (entre viviendas)}$$

Las propiedades acústicas de los edificios deben darse en los términos adecuados conforme a los requisitos.

Para mediciones in situ con las normas internacionales, debe expresarse si la magnitud global se calcula con los resultados de medida en bandas de tercio de octava o en octavas. En general **puede haber diferencias alrededor de ± 1 dB entre los valores globales calculados** a partir de medidas en bandas de tercio de octava y de octava.

6.2.7. Conclusiones.

1. El cálculo del valor de aislamiento global de un paramento a ruido aéreo por el **“método de comparación” es un procedimiento no unívoco**, puesto que diferentes curvas de medida pueden dar como resultado el mismo valor de $D_{nT,w}$.
2. Se trata de una **operación no reversible**, debido a que en el momento que queremos conocer la curva de medida, no podemos deshacer el procedimiento para obtenerla, ya que el espectro de partida podría ser cualquiera de los 5 estudiados (dado que todos ofrecen un $D_{nT,w} = 54$ dB).



6.2.8. Ejemplo de medición real según método ISO 717.

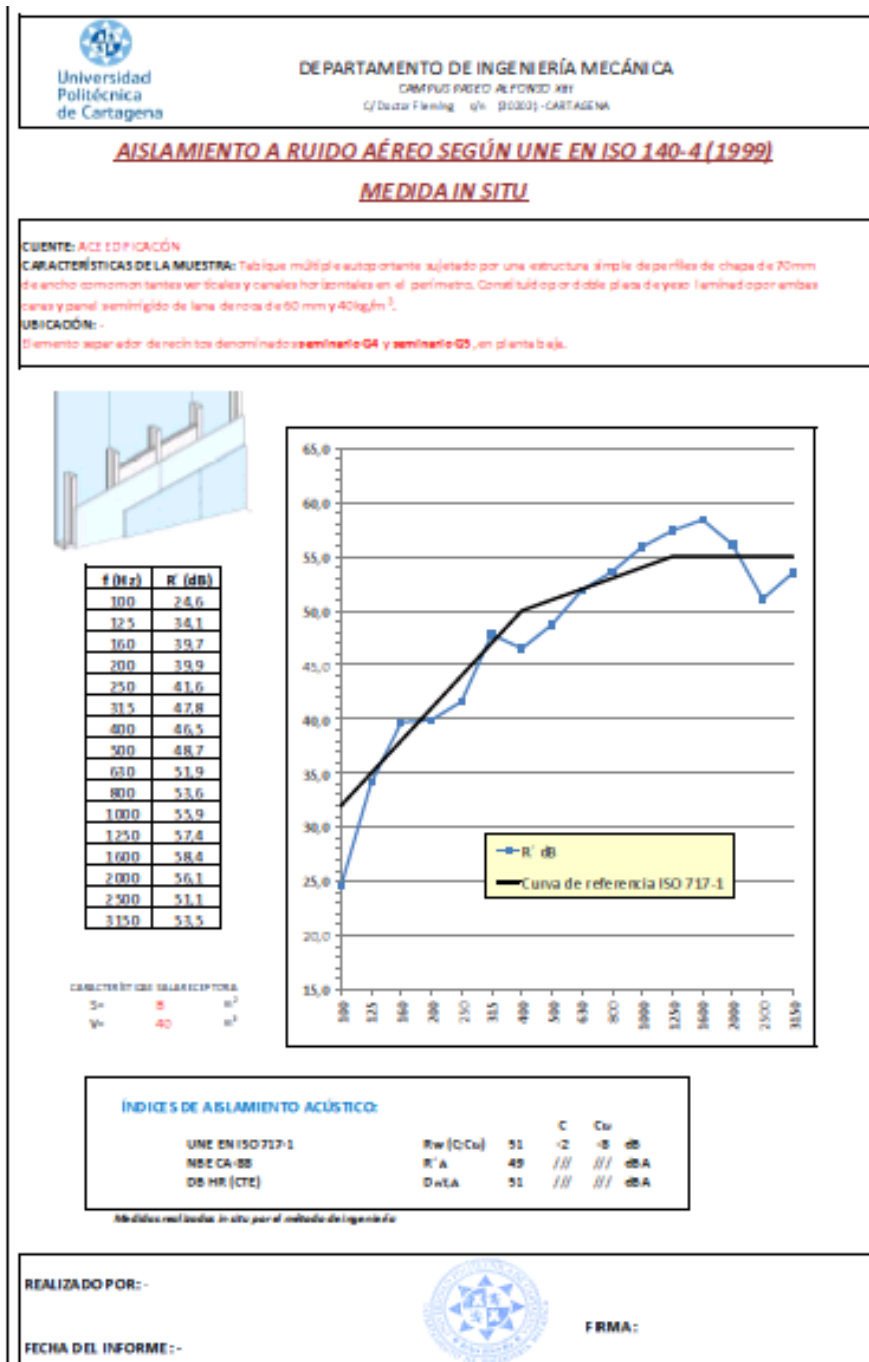


Figura 6.1. Plantilla datos medición según ISO 717.



A continuación se exponen las tablas de datos obtenidas de una medición real según el procedimiento de medida ISO 717:

VALORES DE REFERENCIA PARA AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO																	
FRECUENCIA	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
VALOR REF 1/3	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
							INCREMENTO	-1									

NUEVO VALOR DE REFERENCIA CON EL INCREMENTO																
FRECUENCIA	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
VALOR REF 1/3	32	35	38	41	44	47	50	51	52	53	54	55	55	55	55	55

VALORES DE LAS MEDIDAS REALIZADAS																
FRECUENCIA	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
EDIDA dB 1/3	24,6	34,1	39,7	39,9	41,6	47,8	46,5	48,7	51,9	53,6	55,9	57,4	58,4	56,1	51,1	53,5

DESVIACIONES RESPECTO DE LOS VALORES DE REFERENCIA																
FRECUENCIA	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
DESVIACIONES 1/3	-7,4	-0,9	1,7	-1,1	-2,4	0,8	-3,5	-2,3	-0,1	0,6	1,9	2,4	3,4	1,1	-3,9	-1,5
								SUMA DESV -	23,1	< 32						
								desv/-16 bandas	1,44375	< 2						
								Rw	51							

VALORES DEL TÉRMINO DE ADAPTACIÓN ESPECTRAL C																
FRECUENCIA	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
VALORES dB 1/3	-29	-26	-23	-21	-19	-17	-15	-13	-12	-11	-10	-9	-9	-9	-9	-9

VALORES DEL TÉRMINO DE ADAPTACIÓN ESPECTRAL Ctr																
FRECUENCIA	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
VALORES dB 1/3	-20	-20	-18	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-9	-8	-9	-10	-11	-13	-15

Diferencia entre el valor de C y el valor medido a cada frecuencia																																			
FRECUENCIA	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150																			
DIFERENCIA dB 1/3	-53,6	-60,1	-62,7	-60,9	-60,6	-64,8	-61,5	-61,7	-63,9	-64,6	-65,9	-66,4	-67,4	-66,1	-60,1	-62,5																			
																4,365E-06	8,772E-07	5,370E-07	8,188E-07	8,770E-07	3,318E-07	7,079E-07	6,761E-07	4,074E-07	3,467E-07	2,570E-07	2,239E-07	1,820E-07	3,030E-07	3,172E-07	5,623E-07	1,255E-05	49,0	-2	C

Diferencia entre el valor de C y el valor medido a cada frecuencia																																			
FRECUENCIA	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150																			
DIFERENCIA dB 1/3	-44,6	-54,1	-57,7	-55,9	-56,6	-61,8	-59,5	-60,7	-62,9	-62,6	-63,9	-66,4	-68,4	-67,1	-64,1	-68,5																			
																3,467E-06	3,830E-06	1,639E-06	2,570E-06	2,339E-06	6,607E-07	1,122E-06	8,519E-07	5,129E-07	5,435E-07	4,074E-07	2,239E-07	1,445E-07	1,350E-07	3,830E-07	1,412E-07	5,022E-05	43,0	-8	Ctr



CÁLCULO DEL ÍNDICE PONDERADO DE REDUCCIÓN SONORA SEGÚN NORMA ISO-717-1				
FRECUENCIA Hz	VALORES DE REFERENCIA PARA AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO	NUOVO VALOR DE REFERENCIA CON EL INCREMENTO	VALORES DE LAS MEDIDAS REALIZADAS	DESVIACIONES RESPECTO DE LOS VALORES DE REFERENCIA
100	33	32	24,6	-7,4
125	36	35	34,1	-0,9
160	39	38	39,7	1,7
200	42	41	39,9	-1,1
250	45	44	41,6	-2,4
315	48	47	47,8	0,8
400	51	50	46,5	-3,5
500	52	51	48,7	-2,3
630	53	52	51,9	-0,1
800	54	53	53,6	0,6
1k	55	54	55,9	1,9
1,25k	56	55	57,4	2,4
1,6k	56	55	58,4	3,4
2k	56	55	56,1	1,1
2,5k	56	55	51,1	-3,9
3,15k	56	55	53,5	-1,5

CÁLCULO DE LOS TÉRMINOS DE ADAPTACIÓN ESPECTRAL						
FRECUENCIA Hz	C	Ctr	(C - R')	$10^{[(C - R')/10]}$	(Ctr - R')	$10^{[(Ctr - R')/10]}$
100	-29	-20	-53,6	4,36516E-06	-44,6	3,46737E-05
125	-26	-20	-60,1	9,77237E-07	-54,1	3,89045E-06
160	-23	-18	-62,7	5,37032E-07	-57,7	1,69824E-06
200	-21	-16	-60,9	8,12831E-07	-55,9	2,5704E-06
250	-19	-15	-60,6	8,70964E-07	-56,6	2,18776E-06
315	-17	-14	-64,8	3,31131E-07	-61,8	6,60693E-07
400	-15	-13	-61,5	7,07946E-07	-59,5	1,12202E-06
500	-13	-12	-61,7	6,76083E-07	-60,7	8,51138E-07
630	-12	-11	-63,9	4,0738E-07	-62,9	5,12861E-07
800	-11	-9	-64,6	3,46737E-07	-62,6	5,49541E-07
1k	-10	-8	-65,9	2,5704E-07	-63,9	4,0738E-07
1,25k	-9	-9	-66,4	2,29087E-07	-66,4	2,29087E-07
1,6k	-9	-10	-67,4	1,8197E-07	-68,4	1,44544E-07
2k	-9	-11	-65,1	3,0903E-07	-67,1	1,94984E-07
2,5k	-9	-13	-60,1	9,77237E-07	-64,1	3,89045E-07
3,15k	-9	-15	-62,5	5,62341E-07	-68,5	1,41254E-07
				1,25492E-05		5,02231E-05
				49,0		43,0
				-2		-8

RESULTADOS					
	Rw	C	Ctr	RA	RAtr
1/3 OCTAVA	51	-2	-8	49	43



6.3. Disposición clásica en la medición.

Existen diferentes formas de realizar la medición según el posicionamiento de los elementos de medida, Se expone el método clásico de medición entre dos recintos:

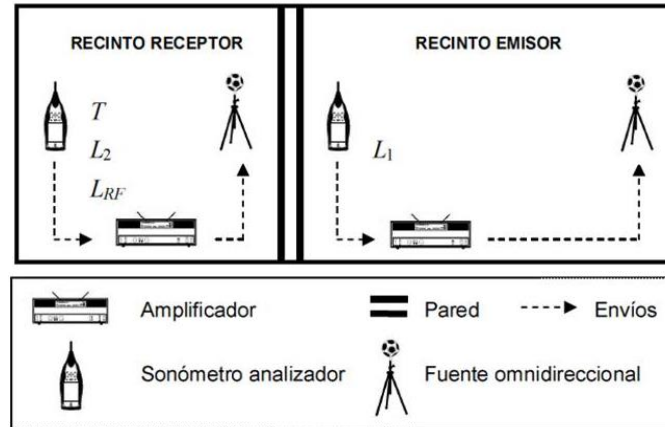


Figura 6.2. Disposición del ensayo del método clásico.

6.4. Ejemplo de equipo para mediciones.

Para tomar las distintas mediciones es necesario un equipo especializado, fiable y de calidad, y a continuación se expone una posibilidad de equipo de medida.

El material para realizar las mediciones es el siguiente:

Sonómetro integrador Tipo 1, de la marca Brüel & Kjaer, modelo 2238 Mediator, el cual es de precisión y con un amplio margen de frecuencias desde 20 Hz a 12.5 kHz para las bandas de 1/3 de octava, que es más que suficiente para tomar las mediciones necesarias. Al ser de tipo 1 quiere decir que puede tener un error de ± 0.7 dBA.



Figura 6.3. Sonómetro integrador utilizado, Brüel & Kjaer 2238 Mediator.



Al ser un sonómetro integrador, permite seleccionar la curva de ponderación que va a ser usada. Por ejemplo, puede usarse la curva A (dBA), que mide la respuesta del oído ante un sonido de intensidad baja, siendo la más semejante a la percepción logarítmica del oído humano. Al no medir las frecuencias que el oído humano no percibe, es utilizado para establecer el nivel de contaminación acústica y el riesgo que sufre el hombre al ser expuesto a esta contaminación. También puede usarse en modo lineal (L) y con los resultados, aplicar la ponderación A por frecuencias.

Este tipo de sonómetro también permite hacer una ponderación en el tiempo, es decir la velocidad con la que se toman las muestras. Estos cambios se hacen mediante un menú en el mismo sonómetro, como se ve en la figura.



Figura 6.4. Vista de la pantalla del sonómetro integrador utilizado.

Existen **cuatro posiciones normalizadas de ponderación temporal**:

- Lento (slow, S): es el valor promedio eficaz de aproximadamente un segundo.
- Rápido (fast, F): es el valor promedio eficaz por 125 milisegundos. Así pues son más efectivos ante las fluctuaciones que el modo "slow". Este modo "fast" es el que usamos para nuestras mediciones.
- Por Impulso (impulse, I): valor promedio eficaz por 35 milisegundos. Mide la respuesta del oído humano ante sonidos de corta duración.
- Por Pico (Peak, P): es el valor de pico, es decir el más alto que haya sin necesidad de que dure en el tiempo. Es muy parecido al anterior, pero con un intervalo mucho más corto entre los 50 y los 100 microsegundos. Sirve para evaluar el riesgo de daños en el oído, ante un impulso muy corto pero muy intenso.

Micrófono: de condensador prepolarizado de campo libre modelo 4188, de ½ pulgada, de la marca Brüel & Kjaer, con número de serie 2735450. Este micrófono tiene un rango de frecuencia de 8 Hz a 16kHz 2dB.



Figura 6.5. Micrófono de condensador prepolarizado Brüel & Kjaer 4188.

Para generar el ruido rosa para la toma de medidas “in situ” a ruido aéreo se utiliza como fuente el **generador de ruido**, por ejemplo el de la marca Brüel & Kjaer, modelo Sound Source Type 4224, el cual según el catálogo del producto, tiene un nivel de potencia sonora de 0 a 118 dB.



Figura 6.6. Fuente de ruido Brüel & Kjaer 4224.



Figura 6.7. Cuadro de mando de la fuente, con la configuración utilizada en las mediciones.

Para la toma de datos del tiempo de reverberación se puede utilizar un mini ordenador portátil con el **software dedicado al campo de laboratorio de acústica Dirac 3.0 Type 7841** de Brüel & Kjaer, conectado a un **amplificador** modelo GA-610D de 10W y a un **acondicionador de señal externo** de la marca Endevco conectado a un preamplificador de la marca Endevco, con un **micrófono** de condensador prepolarizado de precisión.



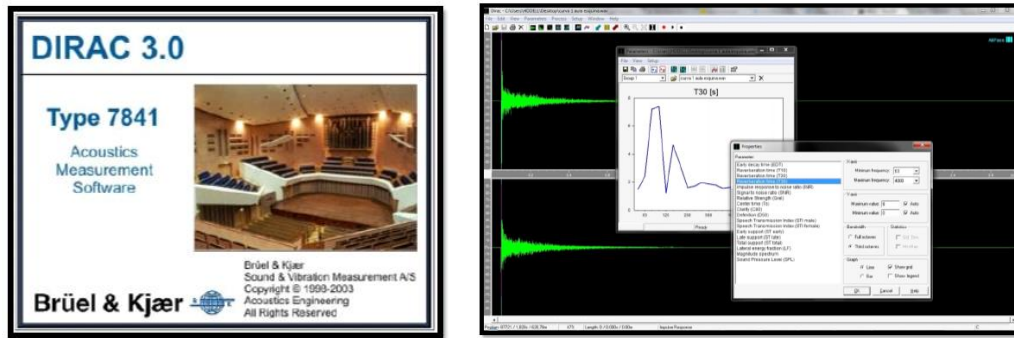


Figura 6.8. Pantalla de inicio del software Dirac 3.0. Captura de pantalla del software Dirac 3.0 en funcionamiento.

El acondicionador de señal es el elemento el cual ofrece una señal de salida apta para ser registrada a partir de la señal de entrada que recibe del preamplificador con el micrófono, permitiendo un procesamiento posterior mediante el software del que se dispone.



Figura 6.9. Acondicionador de señal, mini portátil y micrófono de condensador.



Figura 6.10. Preamplificador, de la marca Endevco. Amplificador GA-610D.

Capítulo 7.

Conclusiones

La toma de medidas por encima de las mínimas establecidas por la normativa es un parámetro de calidad, que cada vez se tiene más en cuenta en la construcción. Hay que poner especial atención en el aislamiento acústico de ruidos provenientes tanto del interior como del exterior del edificio, siendo imprescindible para que éstos no influyan o intentando que influyan en la menor medida de lo posible en el desarrollo normal de la actividad del edificio, diferenciando si es recinto de actividad, protegido, etc., sin que distraiga al receptor ni al emisor del mensaje. Pero el aislamiento acústico sólo no es suficiente para garantizar el confort acústico, ya que para conseguir reunir las condiciones óptimas del recinto, hay que cuidar el diseño del mismo.

Un recinto no es totalmente perfecto, existen parámetros a tener en cuenta, tales como ventanas, conductos de aire, puertas, etc., los cuales hacen variar según sus características y propiedades el nivel de aislamiento necesario.

Actualmente se tiene muy en cuenta el tipo de ventanas que se colocan en las fachadas, con mejores índices de reducción acústica que las normales, o al igual que las puertas cortafuegos, que debido al CTE ya son básicas en el interior de los edificios de nueva construcción, se debería también poner más atención en el aspecto del aislamiento acústico de las puertas. La puerta es un punto muy importante a tener en cuenta, porque en general suele ser la parte menos aislada acústicamente y por lo tanto es por donde puede entrar más ruido. Los ruidos discontinuos pueden llegar a molestar y distraer mucho más que los ruidos constantes, como pueden ser los del tráfico o las propias instalaciones del edificio.

La normativa sobre acústica es cada vez más exigente, aumentando a su vez las exigencias en los materiales y procesos de construcción. Si un edificio se construyó con anterioridad al CTE, por lo que la norma que se aplicó fue la NBE CA-88, menos exigente y actualizada que el CTE.

Los problemas derivados de la acústica aparecen por no tenerla en cuenta durante la fase de diseño, ni en su construcción, y el tener que ser solucionados a posteriori, requieren de un sobre coste adicional. Por lo tanto, se deberá tener en cuenta la acústica en el diseño arquitectónico, tanto en el aislamiento como en el acondicionamiento. Con un buen aislamiento acústico se consigue un mayor



rendimiento, confort, calidad y bienestar, asegurando un ambiente silencioso y relajado que junto a un buen acondicionamiento acústico se obtengan las condiciones óptimas para su debido uso.

De los objetivos propuestos al inicio del proyecto, ha sido posible desarrollar todos con cierto éxito, a pesar de que algunos de ellos han exigido bastante tiempo, ya que el campo de la acústica viene con numerosos detalles que profundizar. Se puede decir, que se han conseguido resultados satisfactorios, sin que por ello no se presentasen dificultades a lo largo de su obtención.

La primera conclusión que se deduce de todo el trabajo desarrollado a lo largo de este tiempo que ha durado el proyecto, es que el aislamiento acústico de recintos es, dicho de una forma burda pero justificada, una “ciencia” en constante evolución, muy ligada a las nuevas tecnologías y a las nuevas estructuras de edificación.

Dependiendo del tipo de recintos bajo estudio y las condiciones de medida, los métodos clásicos de medida de aislamiento a ruido aéreo pueden ser, o no, suficientes para la evaluación de la transmisión sonora de un paramento. Tendrá que ser el técnico de medidas acústicas, quien desde su conocimiento, se decida por sustituir o completar ese ensayo con métodos más novedosos.

Por otro lado, queda suficientemente claro que cualquier método de medida empleado para la evaluación del aislamiento a ruido aéreo de una pared, tiene su razón de ser en bases científicas lo suficientemente sólidas, para que, sea cual sea el método elegido o elegidos, deban respetarse escrupulosamente las indicaciones dadas en los mismos. El conocimiento pleno de cada uno de ellos, permitirá al técnico poder abordar con mayor facilidad los posibles problemas que pudieran presentarse a la hora de realizar el ensayo.

En cuanto a la normativa que permite estimar el índice de aislamiento global de un paramento, se puede exponer que se trata de una norma muy utilizada pero que tiende a quedarse obsoleta puesto que presenta varios problemas de pérdida de información. Teniendo en cuenta además que, en la actualidad, con la informática aplicada a cualquier campo científico (como es la ingeniería acústica), no resulta muy eficiente resumir el análisis de un ensayo en un único número cuando es posible disponer del análisis completo.



Por último, tanto los procedimientos, la instrumentación, las magnitudes medidas e incluso el escenario de medida, influyen en el cálculo de todos y cada uno de los índices que definen la transmisión sonora sobre un paramento.

Sea cual sea el índice de valoración del aislamiento calculado, al tratarse de una magnitud medible u obtenida a partir de magnitudes medibles, lleva asociada una incertidumbre de medida, la cual define en qué cantidad el operario está realizando un ensayo “de calidad”.

Cuanto mayor sea la profundización de los cálculos de estimación de incertidumbre, mejor será el ensayo realizado y el técnico de medidas podrá tener la certeza de que las medidas llevadas a cabo son fieles a la realidad.

Como conclusión final, y sirviendo de enlace con el inicio de este proyecto y para cerrar el mismo, se puede decir que el aislamiento acústico de recintos es una materia tan extensa, que por mucho que se intente dominarla al cien por cien, siempre quedan “temas” por saber, aprender y sobre todo desarrollar.

