

M^o DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO

19978

REAL DECRETO 1909/1981, de 24 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-81 sobre condiciones acústicas en los edificios.

La necesidad de proteger a los ocupantes de los edificios de las molestias físicas y psíquicas que ocasionan los ruidos, aconseja dictar una norma que establezca las condiciones mínimas exigibles para mantener en ellos un nivel acústico aceptable.

En consideración a la importancia de las medidas a adoptar en este sentido, se constituyó una Comisión de expertos, con representación de Organismos oficiales y Entidades privadas, que ha formulado la norma básica que ahora se aprueba.

La norma se ordena en dos partes: la primera contiene el texto articulado, mientras la segunda desarrolla, en forma de anexos, algunos aspectos que conviene tratar con más amplitud.

Las exigencias de aislamiento acústico que se señalan para los elementos constructivos se establecen en base a valores medios del nivel de ruido exterior, en tanto se prepara la zonificación correspondiente.

No se contemplan las medidas de control y defensa contra el ruido en los locales de trabajo, ya tratadas en las reglamentaciones específicas.

Esta norma básica de la edificación se ha elaborado en el ámbito de las competencias atribuidas al Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo por el Real Decreto mil seiscientos cincuenta/mil novecientos setenta y siete, de diez de junio, sobre normativa de la edificación.

En su virtud y a propuesta del Ministro de Obras Públicas y Urbanismo y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día veinticuatro de julio de mil novecientos ochenta y uno,

DISPONGO:

Artículo primero.—Se aprueba la norma básica de la edificación NBE-CA-ochenta y uno, sobre condiciones acústicas en los edificios que figura como anexo al presente Real Decreto.

Artículo segundo.—La norma básica de la edificación NBE-CA-ochenta y uno será de obligatoria observancia en todos los proyectos y construcciones, de edificaciones públicas y privadas.

Artículo tercero.—Quedan responsabilizados del cumplimiento de esta norma, dentro del ámbito de sus respectivas competencias, los profesionales que redacten proyectos de ejecución de edificios; las Entidades o instituciones que intervengan en el visado, supervisión o informe de dichos proyectos; los fabricantes y suministradores de materiales; los constructores y los directores facultativos de las obras de edificación, así como las

Entidades de control técnico que intervengan en cualquiera de las etapas de este proceso.

Artículo cuarto.—En el ejercicio de la vigilancia del cumplimiento de la norma básica de la edificación NBE-CA-ochenta y uno, el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo podrá inspeccionar los proyectos de ejecución de las obras, la ejecución de las mismas y el uso de los edificios.

Artículo quinto.—Se considerará como falta muy grave el incumplimiento de esta norma básica a tenor de lo establecido en los artículos ciento cincuenta y tres C, cuatro del Reglamento de Viviendas de Protección Oficial de veinticuatro de julio de mil novecientos sesenta y ocho, y cincuenta y seis del Real Decreto tres mil ciento cuarenta y ocho/mil novecientos setenta y ocho, de diez de noviembre, sin perjuicio de las demás sanciones que, en materia de urbanismo y edificación, procedan según la legislación vigente.

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Primera.—No será de aplicación la presente norma en los edificios en construcción o con licencia de construcción concedida antes de la entrada en vigor de la norma.

Segunda.—Durante el plazo de seis meses, contado a partir de la fecha de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado», se podrán presentar observaciones a la NBE-CA-ochenta y uno ante la Dirección General de Arquitectura y Vivienda del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

Analizadas las observaciones aludidas, el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo procederá a proponer al Gobierno las modificaciones que considere convenientes introducir en la citada norma.

DISPOSICIONES FINALES

Primera.—La presente disposición entrará en vigor al año de su publicación.

Segunda.—Quedan derogadas las disposiciones que se opongan a lo establecido en este Real Decreto, y en especial lo establecido para aislamiento acústico entre viviendas en la Ordenanza veinticinco, apartado B, de las Ordenanzas Provisionales de las Viviendas de Protección Oficial, aprobadas por Orden ministerial de veintinueve de mayo de mil novecientos sesenta y nueve y modificadas por Orden ministerial de cuatro de mayo de mil novecientos setenta.

Tercera.—Se autoriza al Ministro de Obras Públicas y Urbanismo para dictar las disposiciones y medidas que se consideren necesarias para el mejor desarrollo y cumplimiento del presente Real Decreto.

Dado en Madrid a veinticuatro de julio de mil novecientos ochenta y uno.

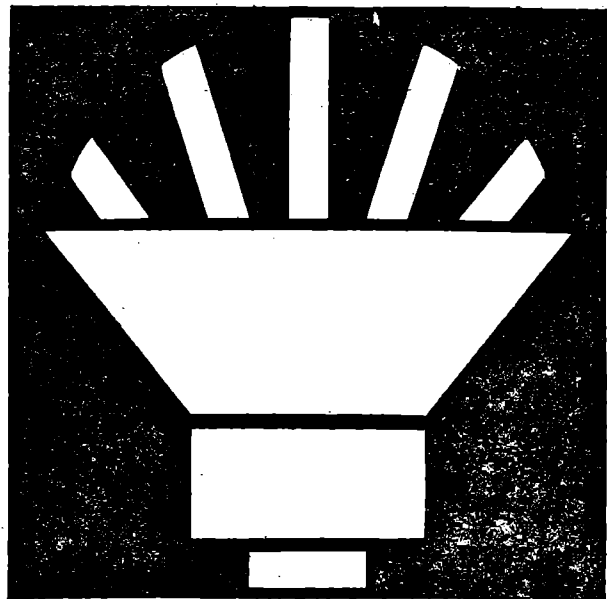
JUAN CARLOS R.

El Ministro de Obras Públicas y Urbanismo,
LUIS ORTIZ GONZALEZ

NBE

Norma
Básica de la
Edificación

NBE-CA-81
Condiciones
Acústicas en los
edificios



Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo

Capítulo I Generalidades

Artículo 1º: Objeto

Esta Norma tiene como objeto establecer las condiciones acústicas mínimas exigibles a los edificios con el fin de garantizar un nivel acústico adecuado al uso y actividad de sus ocupantes. Las definiciones, notaciones, unidades y métodos de cálculo relativos a los conceptos que aparecen en los siguientes artículos figuran en los Anexos 1 y 3 de la Norma.

Artículo 2º: Campo de aplicación

Esta Norma es de aplicación en todo tipo de edificios de nueva planta, destinados a cualquiera de los siguientes usos:

- Residencial privado, como viviendas y apartamentos.
- Residencial público, como hoteles y alojos.
- Administrativo y de oficinas, como edificios para la administración pública o privada.
- Sanitario, como hospitales, clínicas y sanatorios.
- Docente, como escuelas, institutos y universidades.

Los edificios de uso no incluido en la anterior clasificación se regirán por su regulación específica. En edificios de varios usos, la Norma será de aplicación para cada uno de ellos por separado, debiendo mantenerse la clasificación más exigente de las que le correspondan, en los elementos constructivos comunes.

El proyectista podrá adoptar bajo su responsabilidad, procedimientos y soluciones distintas a las que se establecen en esta Norma, que deberá justificar en el Proyecto de ejecución, en virtud de las condiciones singulares del edificio.

Artículo 3º: Condiciones acústicas de los edificios

A efectos de esta NBE, los edificios quedan caracterizados acústicamente por el aislamiento acústico que en cada caso se deriva, de todos y cada uno de los elementos verticales y horizontales que conforman los distintos espacios interiores habitables. Las instalaciones se caracterizarán por los niveles de ruido y vibraciones que produzcan en las zonas del edificio bajo su influencia. No se contempla en esta NBE el acondicionamiento acústico de locales.

Artículo 4º: Condiciones acústicas del ambiente exterior

Los ruidos del ambiente exterior se caracterizarán por sus niveles en dBA. En casos especiales, como el tráfico aéreo o ferroviario podrán utilizarse los índices NNI y el nivel Leq. En el Anexo 2 se estudian las fuentes de ruido más frecuentes, estableciéndose valores orientativos de los niveles de ruido que producen.

Artículo 5º: Condiciones acústicas del ambiente interior

A efectos de esta Norma el ambiente interior se caracteriza por sus niveles valorados en dBA. En el Anexo 5, se establecen, a título indicativo, los niveles límite recomendables para los distintos ambientes.

Capítulo II
Directrices generales

Artículo 6º: En el planeamiento urbanístico

En el planeamiento se estima precedente la consideración de las siguientes directrices:

- 6.1. Ubicación de los aeropuertos en zonas dispuestas al efecto, que garanticen que los asentamientos urbanos más próximos no queden situados en el interior del área definida por la línea de índice de ruido correspondiente a 40 dBA.
- 6.2. Ubicación de las zonas industriales en áreas dispuestas al efecto, que garanticen que en los asentamientos urbanos más próximos no se produzcan, por su sola causa, niveles de ruido continuo equivalente que superiores a 60 dBA.
- 6.3. Ubicación y trazado de vías férreas en bandas dispuestas al efecto, que garanticen que en los asentamientos urbanos más próximos no se produzcan, por su sola causa, niveles de ruido continuo equivalente que superiores a 60 dBA.
- 6.4. Ubicación y trazado de las vías de penetración, con tráfico rodado pesado, en bandas dispuestas al efecto, que garanticen que en los asentamientos urbanos más próximos no se produzcan, por su sola causa, niveles de ruido continuo equivalente que superiores a 60 dBA.
- 6.5. Ubicación y trazado de las autopistas urbanas, en bandas dispuestas al efecto, que garanticen que en los asentamientos urbanos más próximos no se produzcan, por su sola causa, niveles de ruido continuo equivalente que superiores a 60 dBA.
- 6.6. Distribución de volúmenes de la edificación de modo que se protejan por efecto pantalla las partes más sensibles del edificio, de los ruidos procedentes de fuentes fijas, o de las direcciones predominantes de incidencia del ruido.
- 6.7. Orientación de los edificios de modo que presenten la menor superficie de exposición de áreas sensibles al ruido en la dirección predominante de incidencia del mismo.

Artículo 7º: En el proyecto de edificios

En la concepción y distribución interna de las edificaciones es oportuna considerar, especialmente en edificios de vivienda, las siguientes directrices:

- 7.1. Concentración de áreas destinadas al alojamiento de los servicios comunitarios en zonas que no requieran un alto nivel de exigencias acústicas.
- 7.2. Agrupación de recintos de igual uso, de una misma propiedad o usuario, en áreas definidas.
- 7.3. Agrupación de áreas de igual uso, pertenecientes a propiedad o usuario distintos.
- 7.4. Superposición de áreas de igual uso en las distintas plantas del edificio.
- 7.5. Situación y ubicación de huecos, puertas y ventanas, lo más alejados y desfilados de otros pertenecientes a otras áreas, o propietarios distintos.
- 7.6. Disposición de vestíbulos o distribuidores entre las puertas de acceso a la propiedad y las áreas que requieran un alto nivel de exigencias acústicas.

Artículo 8º: En el proyecto de las instalaciones

En la concepción y diseño de las instalaciones es oportuno considerar, especialmente en edificios de vivienda, las siguientes directrices:

- 8.1. Trazado e instalación de canalizaciones por áreas que no requieran alto nivel de exigencias acústicas.
- 8.2. Instalación de los equipos comunitarios generadores de ruido, en locales dispuestos al efecto en zonas que no requieran un alto nivel de exigencias acústicas, procurando además que aquellos sean de bajo nivel de emisión de ruido.
- 8.3. Situación de los aparatos lavadores en áreas que no requieran un alto nivel de exigencias acústicas.

Capítulo III
Condiciones exigibles a los elementos constructivos

Artículo 9º: Condicionales generales

Desde el punto de vista de este Norma, la misión de los elementos constructivos que conforman los recintos, es impedir que en éstos se sobrepasen los niveles de emisión recomendados en el Anexo 5. Teniendo en cuenta que los recintos requieren niveles distintos de exigencias acústicas según su función y dados los distintos condicionantes exteriores e interiores, se establecen condiciones para los diferentes elementos constructivos de los artículos siguientes del presente Capítulo, con la excepción de aquellos de separación de salas de máquinas que se establecen en el artículo 14. En el Anexo 3 se establecen procedimientos de métodos de cálculo para la evaluación de las características acústicas de los distintos elementos constructivos.

Artículo 10º: Particiones interiores

A efectos de esta NBE, se considerarán particiones interiores a los elementos constructivos verticales siguientes, excluidas las puertas:

- Elementos separadores de locales pertenecientes a la misma propiedad o usuario en edificios de uso residencial.
- Elementos separadores de locales utilizados por un sólo usuario en edificios de uso residencial privado o administrativo y de oficina.

El aislamiento mínimo a ruido aéreo R exigible a las particiones interiores es el que se indica en el Anexo 3 para las que separan áreas de usos distintos. El mismo uso y en 35 dBA para las que separan áreas de usos distintos.

Artículo 11º: Paredes separadoras de zonas de propiedad o usuarios distintos

A efectos de esta NBE, se considerarán paredes separadoras de zonas comunes interiores, a las siguientes:

- Paredes medianeras entre propiedades o usuarios distintos, en edificios de uso residencial privado o administrativo y de oficina.
- Paredes separadoras de habitaciones destinadas a usuarios distintos en edificios de uso residencial público y sanitario.
- Paredes separadoras de aulas en edificios de uso docente.

El aislamiento mínimo a ruido aéreo R exigible a estos elementos constructivos se fija en 45 dBA.

Artículo 12º: Paredes separadoras de zonas comunes interiores

A efectos de esta NBE, se considerarán paredes separadoras de zonas comunes interiores, a las siguientes, excluidas las puertas:

- Paredes que separan las viviendas o los locales administrativos y de oficinas, de las zonas comunes del edificio, tales como cajas de escalera, vestíbulos o pasillos de acceso, y locales de servicio comunitario.
- Paredes que separan las habitaciones de las zonas comunes del edificio, andárgos y las señaladas anteriormente, en edificios de usos residencial público y sanitario.
- Paredes que separan las aulas de las zonas comunes del edificio, andárgos a las señaladas anteriormente, en edificios de uso docente.

El aislamiento mínimo a ruido aéreo R exigible a estos elementos constructivos se fija en 45 dBA.

Artículo 13º: Fachadas

A efectos de esta NBE, se consideran fachadas a los elementos constructivos verticales, o con inclinación superior a 60º sobre la horizontal, que separan los espacios habitables del edificio del exterior.

El aislamiento acústico global mínimo a ruido aéreo R exigible en cada local a estos elementos se fija en 33 dBA.

El aislamiento acústico a ruido aéreo R exigible a la parte ciega de estos elementos constructivos se fija en 45 dBA.

Artículo 14°: Elementos horizontales de separación

A efectos de esta NBE, se considera elemento horizontal de separación de dos espacios o locales al conjunto de techo, forjado y solado, siempre que al menos uno de los locales que separa tenga uno de los usos que se señalan en el Artículo 22 de esta Norma. El aislamiento mínimo a ruido aéreo exigible a estos elementos constructivos es 45 dBA. -El nivel de ruido de impacto normalizado L_{ni} en el espacio subyacente será superior a 80 dBA, con la excepción de que estos espacios serán exteriores o no habitables como porches, cámaras de aire, garajes, almacenes o salas de máquinas.

Artículo 15°: Cubiertas

A efectos de esta NBE, se considera cubierta el conjunto de techo, forjado o elemento estructural y cubierta propiamente dichos. El aislamiento mínimo a ruido R exigible a estos elementos constructivos en zonas transitables, el nivel de ruido de impacto normalizado L_{ni} en el espacio subyacente no será superior a 80 dBA, con la excepción de que estos espacios sean no habitables como terrazas y salas de máquinas.

Capítulo IV
Condiciones exigibles a las instalaciones

Artículo 16°: Condiciones generales

A fin de evitar la transmisión de ruido y vibraciones producidas por las distintas instalaciones y equipos que las componen en los locales habitados próximos, las instalaciones cumplirán las exigencias al respecto señaladas en sus reglamentaciones específicas, debiendo cumplirse además las prescripciones que se detallan en los artículos siguientes.

Artículo 17°: Equipos comunes

A efectos de esta NBE, se definen como equipos comunales aquellos susceptibles de generar ruido o vibraciones en régimen de uso normal, que forman parte de las instalaciones hidráulicas, de ventilación, de climatización, transporte y electricidad, estableciéndose para estos equipos y los locales o plantas técnicas donde se ubiquen las siguientes exigencias:

17.1 El aislamiento mínimo a ruido aéreo R exigible a los elementos constructivos horizontales y verticales que conforman los locales donde se alojen los equipos comunales se fija en 55 dBA, con independencia de lo señalado en el Capítulo III.

17.2 En caso de existencia de salas de máquinas en varios niveles del edificio, situadas en contacto con plantas habitables, se desarrollarán soluciones especiales, de acuerdo con las características de los equipos a instalar, que eviten la transmisión de ruidos y vibraciones a las plantas habitables.

17.3 Los fabricantes de los equipos detallarán, en su documentación técnica, los niveles de potencia acústica en dBA que originen en régimen de funcionamiento normal, explicando, en su defecto, el nivel sonoro en dBA emitido por el equipo en régimen de funcionamiento normal, medido a 1,50 m del equipo y a 1,50 m de altura, en condiciones de campo libre.

17.4 La implantación de los equipos se realizará en caso necesario sobre amortiguadores o elementos elásticos y/o sobre bancada aislada de la estructura. La conexión de los equipos con las canalizaciones se realizará mediante dispositivos antivibratorios.

Artículo 18°: Canalizaciones hidráulicas y conductos de aire

Estas canalizaciones se trazarán, siempre que sea posible, por áreas que no requieran un alto nivel de exigencias acústicas, instalándose preferentemente por conductos de obra registrables, y fijándose mediante dispositivos antivibratorios. Las canalizaciones hidráulicas estarán dotadas de dispositivos que eviten los golpes de ariete. En las redes de saneamiento será exigible la correcta ventilación de las bajantes, a fin de evitar los ruidos producidos por pistón hidráulico. La superficie interior de los conductos de acondicionamiento de aire y de ventilación mecánica, en caso necesario, se revestirá con material absorbente.

Segunda parte: anexos

Capítulo V Cumplimiento y control

Artículo 19: Cumplimiento de la Norma en el Proyecto

En la Memoria del Proyecto básico del edificio se aludirá al cumplimiento de la presente Norma.
En la Memoria Técnica del Proyecto de ejecución, deberán expresarse los valores relativos al cumplimiento de lo establecido en esta Norma y los cálculos justificativos pertinentes, debiendo cumplimentarse para ello la Ficha Justificativa, cuyo modelo figura en el Anexo 3.
En el Pliego de Condiciones se indicarán las características y las condiciones de ejecución de los elementos constructivos e instalaciones del edificio que afecten a su aislamiento acústico.

Artículo 20: Cumplimiento de la Norma por las entidades supervisoras de los Proyectos

Para extender visado formal de un Proyecto de edificación, los Colegios Profesionales comprobarán, dentro de la esfera de su competencia, que se contienen los valores y justificaciones que a dichos documentos exige el Artículo 15 de esta Norma.
Del mismo modo, y para extender visado técnico, los organismos procedentes comprobarán, dentro de la esfera de su competencia, que los valores y cálculos correspondientes se ajustan y cumplen lo prescrito en la presente Norma.

Artículo 21: Control de la Recepción de materiales

La dirección facultativa de la obra comprobará que los materiales recibidos en obra corresponden a lo especificado en el Pliego Particular de Condiciones, teniendo en cuenta las prescripciones generales señaladas en el Anexo 4.

Artículo 22: Control de la ejecución

La dirección facultativa comprobará que la obra se realiza de acuerdo con las especificaciones del Proyecto de ejecución.
Cualquier modificación que pueda introducirse quedará reflejada en el Proyecto final de ejecución, sin que, en ningún caso, dejen de cumplirse las exigencias mínimas señaladas en esta Norma.

Anexo 1

Conceptos fundamentales, definiciones, notaciones y unidades

A los efectos de esta Norma, se establecen las siguientes definiciones de los conceptos fundamentales que en ella aparecen, orados de modo que se facilite su comprensión.

Es una vibración del aire caracterizada por una sucesión periódica en el tiempo y en el espacio de expansiones y compresiones.

Símbolo: P
Unidad: Pascal Pa ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$)
Es la diferencia entre la presión total instantánea en un punto determinado, en presencia de una onda acústica, y la presión estática en el mismo punto.

Símbolo: f
Unidad: Herzio Hz
Es el número de pulsaciones de una onda acústica senoidal que ocurren en un tiempo de un segundo. Es equivalente al inverso del período.

Son las indicadas en la Norma UNE 74.002-78, entre 100 Hz y 5.000 Hz. Para bandas de octava son: 125, 250, 500, 1.000, 2.000 y 4.000 Hz. Para tercios de octava son: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1.000, 1.250, 1.600, 2.000, 2.500, 3.150, 4.000 y 5.000 Hz.

Es la frecuencia de la onda senoidal, componente de una onda acústica compleja, cuya presión acústica, frente a las restantes ondas componentes, es máxima.

Es la sensación auditiva producida por una onda acústica. Cualquier sonido complejo puede considerarse como resultado de la adición de varios sonidos producidos por ondas senoidales similares.

Respecto al nombre de sonido armónico, de otro lado, el que tiene una frecuencia múltiplo de la frecuencia de éste. Todo sonido complejo puede considerarse como adición de un sonido fundamental, caracterizado por la frecuencia fundamental, y diversos sonidos armónicos.

Es el intervalo de frecuencias comprendido entre una frecuencia determinada y otra igual al doble de la anterior.

Es una mezcla compleja de sonidos con frecuencias fundamentales diferentes. En un sentido amplio, puede considerarse ruido cualquier sonido que interfiera en alguna actividad humana.

Es una representación de la distribución de energía de un ruido en función de sus frecuencias componentes.

Son ruidos utilizados para efectuar las medidas normalizadas. Se denomina ruido blanco al que contiene todas las frecuencias con la misma intensidad. Su espectro en tercios de octava, es una recta de pendiente 3 dB/octava. Si el espectro, en tercios de octava, es un valor constante, se denomina ruido rosa.

Símbolos: V y W
Unidad: Vatio W
Es la energía emitida en la unidad de tiempo por una fuente determinada.

Símbolo: L
Unidad: W/m²
Es la energía que atraviesa, en la unidad de tiempo, la unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación de las ondas.

1.14 Nivel de presión acústica

Símbolo: L_p
Unidad: Decibelio dB
Se define mediante la expresión siguiente:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

donde:

p es la presión acústica considerada, en Pa.
 p_0 es la presión acústica de referencia que se establece en 2.10⁻⁵ Pa.

113

1.15 Nivel de intensidad acústica

Símbolo: L_I
Unidad: Decibelio dB
Se define mediante la expresión siguiente:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

donde:

I es la intensidad acústica considerada, en W/m²
 I_0 es la intensidad acústica de referencia, que se establece en 10⁻¹² W/m².

113

1.16 Nivel de potencia acústica

Símbolo: L_W
Unidad: Decibelio dB
Se define mediante la expresión siguiente:

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

donde:

W es la potencia acústica considerada, en W.
 W_0 es la potencia acústica de referencia, que se establece en 10⁻¹² W.

113

1.17 Composición de niveles

Cuando los distintos niveles L_i a componer proceden de fuentes no coherentes, caso habitual en los ruidos complejos, el nivel resultante viene dado por la siguiente expresión:

$$L = 10 \log \left(\sum 10^{L_i/10} \right)$$

donde:

L_i es el nivel de intensidad o presión acústica del componente i , en dB.

113

1.18 Tono

Es una caracterización subjetiva del sonido o ruido que determina su posición en la escala musical. Esta caracterización depende de la frecuencia del sonido, así como de su intensidad y forma de onda.

1.19 Timbre

Es una caracterización subjetiva del sonido que permite distinguir varios sonidos del mismo tono producidos por fuentes diferentes. Depende de la intensidad de los distintos armónicos que componen el sonido.

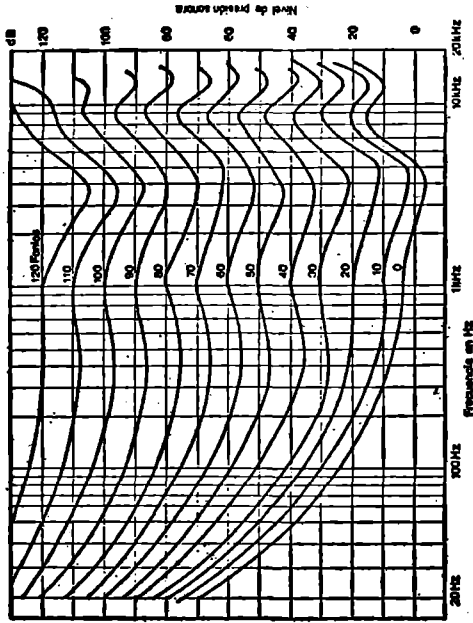
1.20 Sonoridad

Es una caracterización subjetiva del sonido que representa la sensación sonora producida por el mismo a un oyente. Depende fundamentalmente de la intensidad y frecuencia del sonido.

1.21 Nivel de sonoridad

Se dice que el nivel de sonoridad de un sonido o de un ruido es de n fonos cuando, a juicio de un oyente normal, la sonoridad, en escala musical, producida por el sonido o ruido es equivalente a la de un sonido puro de 1.000 Hz continuo, que incide frente al oyente en forma de onda plana libre, progresiva y cuyo nivel de presión acústica es n dB superior a la presión de referencia p_0 .

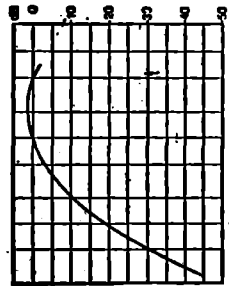
A continuación se representan las curvas de igual sonoridad para tonos puros que constituyen la base para la elaboración de las curvas de ponderación.



Curvas isónicas de igual sonoridad para tonos puros

1.22 Escala ponderada A de niveles. Decibelios A

Escala de medida de niveles que se establece mediante el empleo de la curva de ponderación A representada, tomada de la Norma UNE 21.318/75, para compensar las diferencias de sensibilidad que el oído humano tiene para las distintas frecuencias dentro del campo auditivo.



Curva de ponderación A

Se utiliza como unidad el decibelio A, dBA. En el argen de frecuencias de aplicación de esta Norma, la curva de ponderación A viene definida por los siguientes valores:

Frecuencia en Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
Ponderación en dBA	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,0	0,8
Frecuencia en Hz	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000		
Ponderación en dBA	0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5		

1.23 Coeficiente de absorción

Es la relación entre la energía acústica absorbida por un material y la energía acústica incidente sobre dicho material, por unidad de superficie.

1.24 Absorción

Símbolos: A
Unidad: m²

Es la magnitud que cuantifica la energía extraída del campo acústico cuando la onda sonora atraviesa un medio determinado o en el choque de la misma con las superficies límites del recinto. Puede calcularse mediante las siguientes expresiones:

$A_f = a_f \cdot S$ (57)
 $A = a_m \cdot S$ (63)

donde:

A_f es la absorción para la frecuencia f en m².

A es la absorción media en m².

a_f es el coeficiente de absorción del material para la frecuencia f .

a_m es el coeficiente medio de absorción del material.

S es la superficie del material, en m².

1.25 Reverberación

Es el fenómeno de persistencia del sonido en un punto determinado del interior de un recinto, debido a reflexiones sucesivas en los cerramientos del mismo.

1.26 Tiempo de reverberación

Símbolo: T
Unidad: segundo s

Es el tiempo en el que la presión acústica se reduce a la milésima parte de su valor inicial (tiempo que tarda en reducirse al nivel de presión en 60 db) una vez cesada la emisión de la fuente sonora. En general es función de la frecuencia. Puede calcularse, con aproximación suficiente, mediante la siguiente expresión:

$T = 0,163 \frac{V}{A}$

donde:

V es el volumen del local, en m³.

A es la absorción del local, en m².

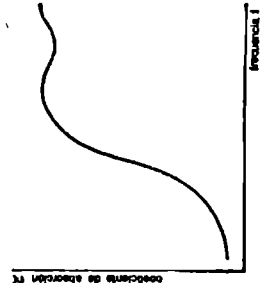
1.27 Resonadores

Son dispositivos absorbentes de acción preferente en bandas estrechas de frecuencias alrededor de una frecuencia de resonancia f_r para la cual la absorción es máxima.

1.28 Materiales porosos

Materiales absorbentes de estructura alveolar, granular, fibrosa, etc., que actúan por degradación de la energía mecánica en calor, debido al rozamiento del aire con las superficies del material. Su coeficiente de absorción crece con la frecuencia.

A continuación se representa una curva típica de absorción de los materiales porosos y un esquema simplificado de su efecto.



Absorción típica de materiales porosos

Esquema simplificado del efecto acústico de un material poroso

1.29 Aislamiento acústico específico de un elemento constructivo

Símbolo: a
Unidad: dB
Se define mediante la siguiente expresión:

$$a = 10 \log \frac{I_1}{I_2} = L_{11} - L_{12}, \text{ en dB} \quad [10]$$

donde:

I_1 es la intensidad acústica incidente.
 I_2 es la intensidad acústica transmitida.
 L_{11} es el nivel de intensidad acústica incidente.
 L_{12} es el nivel de intensidad acústica transmitida.

1.30 Aislamiento acústico bruto de un local respecto a otro

Símbolo: D
Unidad: dB
Es equivalente al aislamiento acústico específico del elemento separador de los dos locales.
Se define mediante la siguiente expresión:

$$D = L_{11} - L_{12}, \text{ en dB} \quad [11]$$

donde:

L_{11} es el nivel de intensidad acústica en el local emisor.
 L_{12} es el nivel de intensidad acústica en el local receptor.

1.31 Aislamiento acústico normalizado

Símbolo: R
Unidad: dB
Aislamiento de un elemento constructivo medido en laboratorio en condiciones señaladas en la Norma UNE 71.040/III. Se define mediante la siguiente expresión:

$$R = D - 10 \log (S/A) = L_{11} - L_{12} + 10 \log (S/A), \text{ en dB} \quad [12]$$

donde:

S es la superficie del elemento separador, en m^2 .
 A es la absorción del recinto receptor, en m^2 .

1.32 Aislamiento acústico en dB(A)

Es la expresión global, en dB(A), del aislamiento acústico normalizado R .

1.33 Aislamiento de un elemento constructivo simple

El aislamiento específico de un elemento constructivo es función de sus propiedades mecánicas, y puede calcularse aproximadamente por la ley de masa, que establece que la reducción de intensidad acústica a través de un determinado elemento es función del cuadrado del producto de la masa unitaria m por la frecuencia f , donde f .

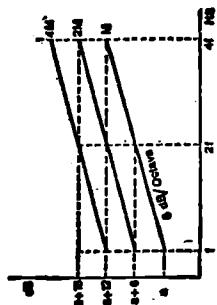
$$a = (f \cdot m)^2 \quad [13]$$

ecuación que expresada en decibelios se transforma en:

$$a = 10 \log (f \cdot m)^2 \quad [14]$$

De donde se deduce que para una frecuencia fija, el aislamiento aumenta en 6 dB cuando se duplica la masa. Análogamente, para una masa dada, el aislamiento crece 6 dB al duplicar la frecuencia.

A continuación se representa gráficamente la ley de masa.



Representación gráfica de la ley de masa

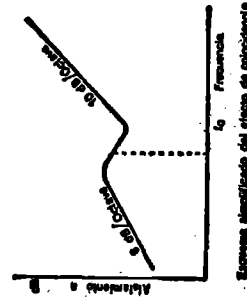
1.34 Frecuencia de coincidencia

Lo expuesto en el epígrafe anterior se obtiene a partir de un modelo físico simplificado, formado por masas independientes, a las que en la realidad le naturaleza elástica de los elementos entraña la correspondiente ligazón entre las masas. En una zona de frecuencias determinadas en torno a la que se denomina frecuencia de coincidencia f_c , la energía acústica incidente se transmite a través de los paramentos en forma de ondas de flexión, que se superponen con las ondas del campo acústico produciéndose una notable disminución del aislamiento.
La frecuencia de coincidencia f_c se define mediante la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{6.4 \cdot 10^4}{g} \sqrt{\frac{1-\sigma^2}{E}} \quad [15]$$

donde:

d es el espesor del paramento, en cm
 ρ es la densidad del material del paramento, en kg/m^3
 E es el coeficiente elástico de Poisson del material
 σ es el módulo de elasticidad de Young del material
A continuación se representa esquemáticamente el efecto de coincidencia.



Esquema simplificado del efecto de coincidencia

1.35 Aislamiento de elementos constructivos múltiples

La dependencia entre el aislamiento y la masa y la necesidad de obtener valores de aislamiento cada vez más exigentes, hacen preciso utilizar sistemas y medios apropiados, que garantizan el aislamiento exigido sin que la masa crezca desproporcionadamente al aislamiento. La solución más usual es la de fraccionar el aislamiento en dos o más hojas separadas entre sí, aunque prácticamente no se pueda conseguir totalmente la separación, por lo que la vibración de una de las hojas se transmite a las otras en mayor o menor grado.
El comportamiento de los elementos múltiples depende de diversos factores que se estudian a continuación.

1.35.1 Influencia de la ligazón elástica entre las hojas componentes.

Suponiendo un aislamiento formado por dos hojas rígidas e indeforables, unidas entre sí únicamente por el aire de la cámara que forman, o por un dispositivo elástico, el elemento se comporta como un conjunto de dos masas m_1 y m_2 ligadas por un resorte de rigidez K de forma que el conjunto presenta una frecuencia de resonancia f_r definida por la siguiente expresión:

$$f_r^2 = \frac{K}{4m_1 m_2} \quad [16]$$

Expresión que para una lámina de aire de espesor d se convierte en:

$$f_r = 60 \sqrt{\frac{1}{m_1 + m_2}} \quad [17]$$

donde:

d se expresa en m.
 m_1 y m_2 se expresan en kg/m^2 .

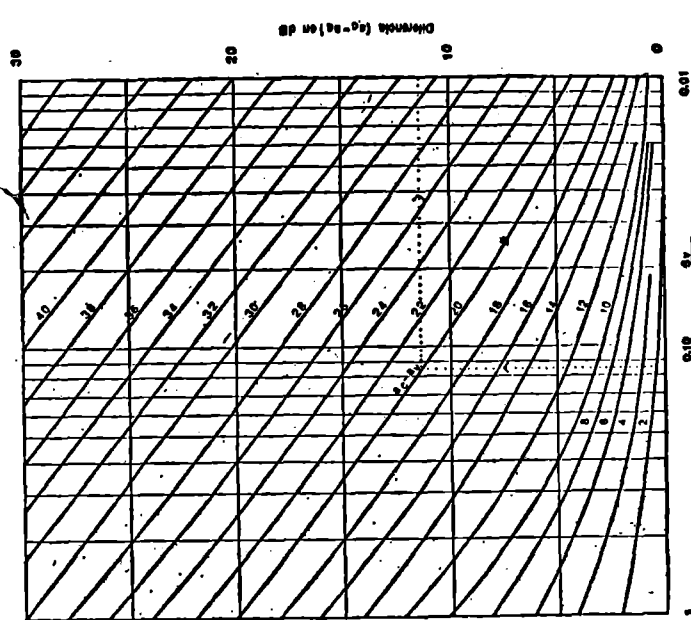
Para esta frecuencia de resonancia, la transmisión del sonido a través del paramento puede ser incluso mayor que si las dos hojas estuvieran rigidamente unidas.
Debe tenerse en cuenta que esto se debe a escoger hojas y separaciones que garanticen el dominio de las frecuencias que se desean aislar.
En un paramento constituido por dos hojas separadas entre sí únicamente por aire, se producen resonancias cada vez que la distancia entre hojas es igual a un múltiplo de la semilongitud de onda. En estos casos, la transmisión es prácticamente total, y estos efectos pueden disminuirse con la colocación de un material absorbente en la cámara formada por ambas hojas.

En el caso más sencillo de un cerramiento con ventanas, de áreas S_c y S_v y de aislamiento α_c y α_v correspondientes respectivamente a las partes ciegas y de ventanas, aplicando la expresión que puesta se obtiene:

$$\alpha_g = 10 \log \frac{S_c}{10^4} + \frac{S_v}{10^4} + \frac{S_v}{10^4} \quad (171)$$

Esta expresión se representa gráficamente en el abaco siguiente, en el que se comprueba que el aislamiento global de un elemento constructivo mixto es como máximo 10 dB mayor que el del elemento que en el caso de fachadas será preciso, para mejorar el aislamiento acústico, mejorar el aislamiento de las ventanas frente al de las partes ciegas.

A título de ejemplo y para mostrar el uso del abaco, para un cerramiento con ventanas, con aislamiento de 20 dBA y un área del 25% del total, cuya parte ciega tiene un aislamiento de 40 dBA, se obtiene una diferencia $\alpha_c - \alpha_g = 20$ de 12 dBA, lo que representa un aislamiento global α_g de 40-12 = 28 dBA.



Aislamiento global de elementos mixtos

En cualquier caso, es de resaltar como problema específico de los cerramientos, el problema que generan las holguras y las rendijas de las carpinterías, ya que pueden causar disminuciones de aislamiento del orden de 3 a 5 dB y cuyo único tratamiento son las bandas de estanqueidad y los resales. Igualmente importante es la disminución de aislamiento que se produce por causa de las rendijas que aparecen en cerramientos con persianas enrollables exteriores, que se cifra en 5 dB, y cuyo refuerzo debe hacerse minimizando estas rendijas, colocando bandas de estanqueidad, reforzando la estructura de la caja, y añadiendo un tratamiento absorbente en el interior.

1.35.2 Influencia de la ligazón rígida entre las hojas componentes.

En el caso de elementos formados por dos hojas rigidamente unidas a un bastidor común, cabría considerar que el conjunto se comporta como una sola hoja, mientras que la realidad es que el caso se complica, transmitiéndose el sonido por el aire y por las ligaduras.

El caso de un elemento formado por una hoja, relativamente pasada, doblada con otra relativamente ligera, rigidamente unidas, proporcióna una mejora de aislamiento, tanto mayor cuanto menor sea el número de ligaduras, siendo en todo caso mejor la ligazón por puntos que la ligazón por líneas.

1.35.3 Influencia de los elementos constructivos adyacentes. Transmisiones indirectas.

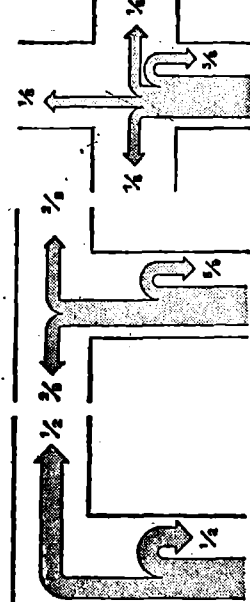
En el campo de la edificación, los elementos adyacentes al de comparación no juegan sólo un papel pasivo como elementos absorbentes, sino que vibran ante el campo acústico aéreo del mismo modo que el elemento separador, al cual transmiten sus propias vibraciones teniendo lugar lo que se denomina transmisión indirecta. Es complejo determinar la cuantía de las citadas transmisiones indirectas, aunque a título indicativo pueden establecerse los valores que se paponan a continuación:

- a) En construcciones homogéneas, es decir, cuando el elemento separador y los adyacentes son de la misma masa, las transmisiones por vía indirecta reducen el aislamiento del elemento separador en unos 5 dB.
- b) En construcciones no homogéneas, cuando el elemento separador tiene una masa sensiblemente superior a la de los adyacentes, la reducción es netamente superior a 5 dB.
- c) En construcciones no homogéneas, cuando el elemento separador es ligero en comparación con los adyacentes, las transmisiones por vía indirecta son despreciables ante la magnitud de la transmisión directa.

1.35.4 Influencia de la estructura.

Las vibraciones que ocasiona una onda acústica o una perturbación de origen mecánico en un elemento estructural no quedan confinadas en dicho elemento, sino que, una parte se disipa en calor, otra se transmite al otro lado del elemento y una tercera se transmite por las uniones al resto de los elementos estructurales adyacentes, en los que a su vez se repite el proceso indicado.

La evaluación de estas transmisiones es compleja, estando, sin embargo, resumida en formas acústicas en el caso en el que todos los elementos horizontales y verticales sean endolagos. En la figura se representa de forma simplificada, la distribución de la energía en uniones constructivas más corrientes.



Esquema simplificado del reparto de energía acústica en uniones constructivas típicas

1.36 Aislamiento de elementos constructivos mixtos

En el campo de la edificación es normal la presencia de elementos formados por elementos constructivos distintos, caracterizados por aislamientos específicos muy diferentes, entrará 31. El aislamiento acústico del elemento debe ser estudiado, en este caso, desde un punto de vista global, contemplando las áreas de los distintos elementos y sus aislamientos específicos. El aislamiento acústico global α_g de un elemento mixto puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\alpha_g = 10 \log \frac{S_1}{S} + \frac{S_2}{S} \quad (18)$$

donde:

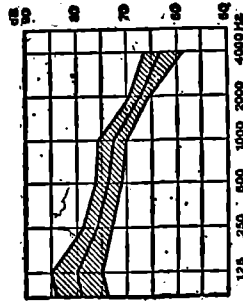
S_1 es el área del elemento constructivo 1, en m^2 .
 S_2 es el aislamiento específico del elemento constructivo 2, en dB.

Anexo 2
Condicionantes del medio

No se regula en este Norma el control y la existencia de ruidos exteriores e interiores en los edificios. Sin embargo, el conocimiento de las fuentes de ruido exteriores e interiores de los edificios es importante para fijar el aislamiento acústico exigible a los edificios en función de sus condicionantes del medio. Por otra parte, interesa también conocer estas fuentes en la búsqueda de situaciones que puedan cumplir estas exigencias, con este fin, en este Anexo se estudian las fuentes de ruido más importantes que aparecen en el entorno de los edificios.

Las fuentes de ruido externas influyen fundamentalmente en la situación y disposición de los volúmenes de la edificación en la fase del planeamiento urbanístico y en los cerramientos del edificio.

El ruido generado por el tráfico rodado tiene un carácter aleatorio debido fundamentalmente a que está compuesto por aportaciones de fuentes de ruido con distintos espectros y características de emisión, tales como vehículos pesados, automóviles de turismo, en los que existen, por otra parte, distintas partes productoras de ruido. En consecuencia, la caracterización del ruido generado por el tráfico, exige además de conocer su espectro energético, evaluar su fluctuación en el tiempo, siendo necesario para ello un tratamiento estadístico que permita obtener índices globales. A continuación se representa a título de ejemplo, un espectro típico de ruido de tráfico en escala de nivel y frecuencia.



2.1.1.1 Índices de valoración del ruido de tráfico de vehículos automóviles.

Entre los índices de valoración del ruido de tráfico de vehículos automóviles, pueden citarse como más usados los siguientes:

- a) Nivel L10. Es el nivel sonoro en dBA que se sobrepasa durante el 10% del tiempo de observación.
- b) Nivel L50, o nivel medio. Es el nivel sonoro en dBA que se sobrepasa durante el 50% del tiempo de observación.
- c) Nivel L90. Es el nivel sonoro en dBA que se sobrepasa durante el 90% del tiempo de observación.
- d) Nivel Leq, o nivel sonoro continuo equivalente. Es el nivel en dBA de un ruido constante hipotético correspondiente a la misma cantidad de energía acústica que el ruido real considerado, en un punto determinado durante un período de tiempo T. Su expresión matemática es la siguiente:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i 10^{L_i/10} \right) \text{ en dBA}$$

donde:

t_i es el tiempo de observación durante el cual el nivel sonoro es L_i + 2,5 dBA. Cuando no se disponga de sonómetros integrales y sólo se disponga de los sonómetros convencionales no pueden realizarse las mediciones necesarias para determinar el nivel en dBA. En esta situación, debe obtenerse el nivel medio L50 y calcularse la dispersión de los niveles aplicándose después la siguiente relación matemática, siempre y cuando la distribución estadística sea gaussiana:

$$L_{eq} = L_{50} + 0,115 \sigma^2 \text{ en dBA}$$

donde:

σ es la desviación típica.

2.1 FUENTES DE RUIDO EXTERNAS A LOS EDIFICIOS.

2.1.1 Vehículos automóviles

Es el nivel de ruido producido por la máquina de impactos que se describe en la Norma UNE 74.042, en el recinto subyacente. Se define mediante la siguiente expresión:

$$L_A = L + 40 \log (10/A) \quad [13]$$

donde:

L es el nivel directamente medido en dB.
A es la absorción del recinto en m².

Es un parámetro subjetivo obtenido como media experimental de un gran número de ensayos. Corresponde a la percepción subjetiva de las vibraciones en el margen de 0,5 a 80 Hz. Se define mediante la siguiente expresión empírica:

$$K = a \sqrt{1 + 1770/\omega^2} \quad [15]$$

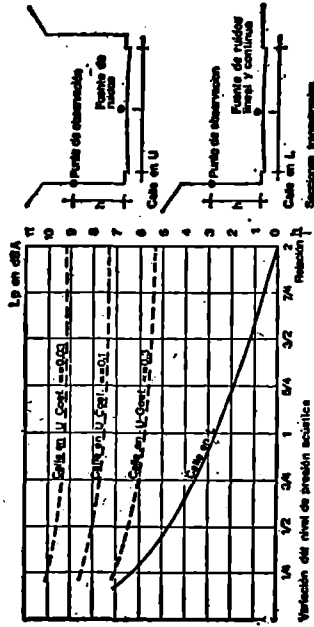
donde:

a es el valor eficaz de la aceleración en m/s².
ω es un coeficiente experimental 12,5 52/πm.
f₀ es 10 Hz.

3.39 Cuadro de notaciones y unidades

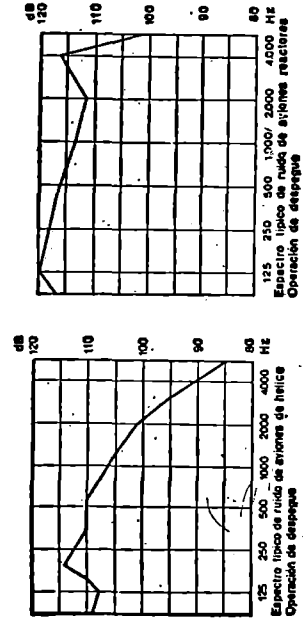
Notación	Concepto	Unidad
P	Presión acústica	Pa
f	Frecuencia	Hz
W	Potencia acústica	W
I	Intensidad acústica	W/m ²
L _p	Nivel de presión acústica	dB
L _i	Nivel de intensidad acústica	dB
L _w	Nivel de potencia acústica	dB
α	Coefficiente de absorción	—
A	Absorción	m ²
T _r	Tiempo de reverberación	s
α	Aislamiento acústico específico de un elemento constructivo	dB
D	Aislamiento acústico bruto de un local respecto a otro	dB
R	Aislamiento acústico normalizado	dB
f _c	Frecuencia de coincidencia	Hz
f _r	Frecuencia de resonancia	Hz
α _g	Aislamiento global de elementos mixtos	dB
L _N	Nivel de ruido de impactos normalizado	L _N
W	Intensidad de percepción de vibraciones	—

A continuación, y a efecto indicativo, se representa un caso en el que pueda obtenerse la variación del nivel de presión acústica en un punto de la trayectoria del vuelo de la aeronave, en función de la topografía del terreno, de la relación entre la altura del punto de observación y el ancho de la vía y del coeficiente de absorción de las fachadas.



2.1.2 Aviones

De todos los medios de transporte, los aviones son los que generan mayor cantidad de energía acústica, lo que unido a su dependencia de los aeropuertos hace que las molestias que se ocasionan en las localidades situadas en las inmediaciones de éstos sean realmente importantes, debido que los niveles máximos de ruido se producen en el despegue dado que es durante esta operación cuando se exige a los motores el máximo de potencia. La importancia del sobrevuelo, y por último el aterrizaje, depende en la que el nivel de ruido generado es menor (20 decibelios menos que en el vuelo normal). En cuanto a los ruidos emitidos puede decirse que los aviones de hélice producen ruidos con predominancia de frecuencias bajas, mientras que los aviones a reacción ocasionan ruidos debidos a las turbulencias procedentes de la mezcla y salida de gases de los reactores, cuya componente de alta frecuencia es átensamente importante, sobre todo en el aterrizaje; frecuencia es átensamente importante, sobre todo en el aterrizaje. La emisión de ruido no es igual para todas las direcciones, pudiendo afirmarse que la máxima intensidad se produce hacia atrás, y se contiene en un cono de revolución cuyo eje es el del aparato, y cuya generatriz forma con dicho eje un ángulo de 30 a 45°. Al valorar estos ruidos, son necesarios índices de medida especiales que tengan en cuenta, no sólo el espectro específico del ruido, y su nivel sonoro, sino también el espectro específico del lugar durante el día y/o la noche. A continuación se representan a título de ejemplo, dos espectros correspondientes a las operaciones de despegue de aviones de hélice y reactores en escala de niveles y frecuencia.



c) Nivel L_{eq} o nivel de contaminación sonora. Es el índice en dB(A) obtenido a partir del nivel de ruido equivalente L_{eq} L_{eq} siendo en cuenta la fluctuación de niveles. Su expresión matemática es la siguiente, admitida una distribución estadística gaussiana:

$L_{eq} = L_{90} + 2,56 \sigma$ en dBA

[43]

La principal ventaja de este índice es su adecuación para valorar la reacción subjetiva al ruido; sus inconvenientes radican por una parte en su obtención por métodos indirectos y por otra en la dificultad que representa para el proyectista el hecho de que el nivel medio L_{50} y la desviación típica σ no decrecen del mismo modo con la distancia.

f) Índice TNI o índice de ruido de tráfico. Es un índice empírico en dBA que tiene en cuenta el valor del nivel sonoro L_{90} , y la dispersión. Su expresión matemática es la siguiente:

$TNI = 4 (L_{90} - 50) + 50 - 30$, en dBA.

[44]

La principal ventaja de este índice radica en que valores adecuadamente las reacciones humanas, mejor que el nivel medio L_{50} , en casos de poca circulación (inferior a 300 vehículos/hora).

En los casos de circulaciones medias y densas, la distribución estadística de los niveles sonoros es sensiblemente gaussiana, por lo que pueden fijarse las relaciones siguientes:

$L_{10} = L_{50} + 1,28 \sigma$, en dBA

[45]

$L_{50} = L_{90} - 1,28 \sigma$, en dBA

[46]

$TNI = L_{50} + 9 \sigma - 30$, en dBA

[47]

2.1.1.2 Valores orientativos

Como orientación, se pueden considerar los valores de L_{10} que se incluyen en el cuadro siguiente, medidos en el borde de la calzada a una altura sobre el suelo de 1,20 m.

Tipo de vía	Nivel L_{10} en dBA
Calle adoquinada en cuesta con tráfico muy denso y 30t de vehículos pesados	88
Calle asfaltada horizontal con tráfico muy denso y 3t de vehículos pesados	82
Calle asfaltada horizontal con tráfico poco denso y 10t de vehículos pesados	77

Estos valores deben considerarse como indicativos debiendo utilizarse modelos de predicción que tengan en cuenta las características específicas del tráfico y las vías en cuestión.

2.1.2.1 Índices de valoración del ruido de aviones.

El efecto perturbador del ruido en aeropuertos y zonas aledañas a ellos, fundamentalmente, de los valores de pico que sobrepasan a nivel de ruido ambiental, de la composición espectral del ruido de su evolución temporal, por lo que se ha hecho necesario tener en cuenta los distintos tipos de ruidos producidos por los aviones, trayectorias posibles.

Entre los índices que valoran el ruido percibido en el suelo, se producen por un sólo avión pueden citarse los siguientes:

- a) Nivel LEPH o nivel efectivo de ruido percibido. Es el índice que representa el efecto subjetivo total producido por el paso de un avión, en función del nivel acústico máximo de su composición espectral y de la evolución del ruido en el tiempo. Se mide en dB.
- b) Nivel LAE o nivel acústico ponderado A de exposición al ruido aéreo. Es el índice que representa el efecto subjetivo total producido por el paso de un avión en función del nivel sonoro máximo en dBA y de la evolución del ruido en el tiempo. Se mide en dBA.

Entre los índices que valoran el ruido percibido en el suelo, producido por un conjunto de aviones, en distintas operaciones de despegue y aterrizaje y para rutas diferentes, pueden citarse los siguientes, referidos a 24 horas.

- c) Índice ENR o índice compuesto de ruido. Se define mediante la siguiente expresión matemática:

$$ENR = \overline{LEPH} + 10 \log n-12. \quad (8)$$
- d) Índice R o Índice Isonóico. Se define mediante la siguiente expresión matemática:

$$R = \overline{LEPH} + 10 \log n-34 \quad (9)$$

e) Índice NNT o índice de ruido y número de operaciones. Se define mediante la siguiente expresión matemática:

$$NNT = \overline{LEPH} + 15 \log n-80 \quad (10)$$

donde:
 LEPH, es el valor medio de los niveles efectivos del ruido percibido en dBA
 n, es el número de operaciones realizadas en 24 horas.

Para valoraciones aproximadas, el índice LEPH puede sustituirse por el índice LAE.

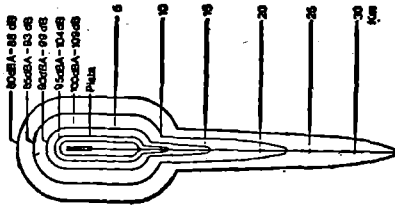
2.1.2.2. Valores orientativos.

En el siguiente cuadro se indican algunos valores que dan idea del carácter contaminante de este tipo de ruido.

Tipo de operación	Niveles LEPH en dB	LAE en dBA
Sobrevuelo de avión reactor pasado, en aterrizaje, a dos kilómetros de la pista	115	106
Sobrevuelo de avión reactor de tipo medio, en aterrizaje, a dos kilómetros de la pista	106	97
Sobrevuelo de avión reactor a 300 m de altitud	112	103
Sobrevuelo de avión a hélice a 300 m de altitud	97	88
Despegue de avión de turbohélice a 500 m de la pista	109	100
Despegue de avión reactor a 500 m de la pista	109	100

Los valores expuestos, sin embargo, deben complementarse con estudios específicos, en los que se tengan en cuenta no sólo los distintos tipos de aeronaves sino también la frecuencia de los ruidos.

En las siguientes figuras y a título de ejemplo se muestran curvas isonóicas y NNT.



Curvas isonóicas producidas por el despegue de avión

ISONOICO

2.1.3. Trenes

El efecto perturbador del ruido producido por el ferrocarril de superficie es función del ruido producido por los vehículos y de la frecuencia del tráfico en un período de tiempo determinado. El ruido producido por los vehículos tiene como fuentes principales los el sistema rueda-rail y el sistema propulsor del vehículo tractor.

A título indicativo puede decirse que el paso de un tren a 30 m de distancia produce un nivel sonoro que varía entre 80 y 100 dBA.

El ferrocarril subterráneo no contribuye al aumento del ruido ambiente. Sin embargo y debido a la transmisión de vibraciones por el terreno y a través de las estructuras, el ferrocarril subterráneo puede inducir niveles apreciables de ruido y vibraciones en los edificios próximos a los túneles, pudiendo llegar incluso a generar peligro para las estructuras de dichos inmuebles.

2.1.4. Construcción

Los ruidos que se producen en la edificación y obras públicas tienen como fuente principal la maquinaria empleada, generalmente de gran tamaño, que produce ruidos continuos de nivel fluctuante y en gran medida ruidos impulsivos.

Estos ruidos se ven incrementados por los trabajos de operaciones subsidiarias realizadas normalmente con martillos neumáticos, taladros, sierras y pulidoras, pudiendo decirse en todo caso que los niveles producidos a 10 m de distancia suelen ser superiores a 90 dBA.

2.1.5. Actividades Industriales

Los ruidos emitidos al exterior por las industrias son muy variados, tanto en su ocurrencia, como en nivel y espectro sonoro, ya que dependen no sólo del proceso industrial propiamente dicho, sino también de las características formales, constructivas y de ubicación de las industrias y de las operaciones de acarreo y transporte de mercancías.

Esto lleva consigo, la conveniencia de situar la industria en zonas reservadas a este fin exclusivo, evitando la proximidad de viviendas, ya que es bastante común encontrar niveles de ruido en el exterior superiores a 80 dBA, cuya molestia se acrecienta en los períodos de trabajo nocturno.

2.1.6 Actividades urbanas como aeriales

Estos ruidos comprenden los producidos por aquellas actividades no incluidas en los anteriores abaratos y que tienen de común un carácter a su vez localizado e identificable. Las características más acusadas de estos ruidos son la intermitencia y la variación de los niveles, que pueden alcanzar valores del orden de 90 dBA o más, como en los casos de megafonía, impactos, etc.

Entre las fuentes más habituales de estos ruidos pueden citarse las siguientes:

- Mercados y locales comerciales.
- Reparto urbano de mercancías.
- Recogida de basuras.
- Locales de espectáculos.
- Colegios.

2.1.7 Agentes atmosféricos

Algunos fenómenos atmosféricos pueden dar lugar a altos niveles de ruido en el interior de los edificios. En el caso de lluvia y granizo la componente principal del ruido es la producida por los impactos en cubiertas y cerramientos, que se transmiten además por dichos elementos constructivos al interior de las edificaciones, siendo necesario, por consiguiente, en lugares especialmente ruidosos o castigados por el viento, tomar precauciones especiales, ya que pueden llegar a producirse niveles ambientales superiores a 80 dBA en caso de edificaciones con cubiertas o cerramientos ligeros.

3.2 FUENTES DE RUIDO INTERNAS A LOS EDIFICIOS

Reciben el nombre de fuentes de ruido internas las derivadas de la ocupación y utilización de los edificios y las ocasionadas por los servicios e instalaciones de los edificios.

Aparte del ruido aéreo, muchas fuentes internas dependiendo de su ligazón a elementos estructurales, pueden comunicar a éstos una buena parte de su energía, que se propaga sin atenuaciones apreciables por lo que puede producir niveles importantes de ruido en lugares del edificio muy alejados de la fuente.

A estos efectos deberá tenerse en cuenta las fuentes internas en el planteamiento de la distribución en planta y altura de los recintos, e incluso en la distribución general de volúmenes. Al evitar los ruidos de origen interno es importante distinguir entre fuentes propias y ajenas, ya que el efecto de molestia de una misma fuente es distinto, según el caso, no sólo por su mayor o menor aceptación subjetiva sino también por el control de su ocurrencia y modo de utilización.

2.2.1 Instalaciones

En los epígrafes siguientes se trata de los ruidos producidos por los servicios e instalaciones de los edificios, incluyéndose a vez las recomendaciones para su reducción.

2.2.1.1 Instalaciones de Fontanería.

Constituyen una importante fuente de generación y radiación de ruido. Las bombas de circulación pueden llegar a generar niveles de 90 dBA en el local en que se alojan, transmitiéndose las vibraciones por las canalizaciones, estructura y por el propio flujo. Las canalizaciones constituyen, por otra parte, excelentes elementos transmisores de los ruidos propios, originados por regímenes de circulación turbulentos, cuando se alcanzan velocidades superiores a 3 m/s, como consecuencia en muchos casos, de un diseño inadecuado o de defectos de montaje.

Una importante fuente de ruido, en estas instalaciones, la constituyen los grifos, cuyo nivel de emisión sonora crece, en general, con la presión y la velocidad, variando con su grado de apertura debido a fenómenos de cavitación. Por otro lado, puede producirse el denominado golpe de ariete, ocasionado por una onda de choque que recorre las canalizaciones y cuya eliminación se hace posible utilizando elementos de expansión.

Los ruidos de llenado y vaciado de aparatos sanitarios pueden alcanzar niveles de 75 dBA en el recinto donde están ubicados, por lo que además de reducir el impacto directo, deberán instalarse interponiendo elementos aislantes.

2.2.1.2 Instalaciones de salubridad.

a) Saneamiento.

Prescindiendo de los ruidos producidos por las bombas de circulación y de los ruidos de llenado y vaciado de recipientes, ya señalados en el epígrafe anterior, destacan en estas instalaciones el ruido producido por pistón hidráulico en bajantes de festosamente ventiladas.

b) Vertido de basuras.

Constituyen fuentes esporádicas de ruido aéreo y estructural que pueden alcanzar niveles de 80 dBA en su interior. Su instalación se realizará aislándolos acústicamente del resto de la edificación.

Las computeras de vertido deben quedar aisladas de la estructura y previstas de juntas elásticas y cierre a presión, sin lo de preciso. Igualmente un tratamiento amortiguador del recinto y del recipiente de recogida que atende los ruidos que se producen.

2.2.1.3 Instalaciones de calefacción.

Las calderas y quemadores constituyen fuentes importantes de generación y radiación de ruidos, que pueden producir niveles, en el propio recinto en que se alojan, comprendidos entre 70 y 90 dBA con un espectro rico en bajas frecuencias.

Las canalizaciones y bomba de circulación actúan según se expuso en el epígrafe 2.2.1.1. Instalaciones de fontanería. Del mismo modo, los radiadores actúan como emisores de los ruidos originados en la sala de máquinas y en las propias tuberías. En cuanto a los radiadores eléctricos, puede señalarse que dan lugar a sistemas mecánicos resonantes, que producen ruidos en los que predominan las frecuencias discretas, y que pueden transmitirse a los paramentos a través de los soportes de sujeción, por lo que éstos deben independizarse de aquellos mediante elementos elásticos.

2.2.1.4 Instalaciones de ventilación

Los sistemas de ventilación de cuartos de baño y cocinas constituyen, en muchos casos, una vía de fácil propagación de ruido aéreo entre locales e incluso de transmisión del ruido exterior. En los sistemas con chimeneas de ventilación debe procurarse un diseño adecuado, de modo que se consiga una aceptable separación acústica. A estos efectos, es de tener en cuenta que un codo recto supone para la palabra, una atenuación media del orden de 3 dBA.

2.2.1.5 Instalaciones de climatización.

Los sistemas de climatización facilitan la propagación de ruidos y vibraciones procedentes de la maquinaria, a lo largo de sus conductos constituyendo además una vía de transmisión de ruidos entre recintos próximos. En todo caso la propagación por los conductos puede reducirse mediante el tratamiento de las superficies interiores con materiales absorbentes. Una fuente adicional de ruido en estos sistemas son las rejillas, que al estar sometidas a un régimen de flujo de aire, producen un ruido de tipo aerodinámico especialmente cuidado y una gran molestia. La velocidad de impulso, ya que es habitual encontrar niveles de ruido producidos por ellas de 40 dBA. En cuanto a los acondicionadores de aire unitarios cabe señalar que producen ruidos en los que predominan las bajas frecuencias, por lo que su instalación ha de realizarse de modo que se evite la transmisión de energía acústica a la estructura del inmueble, mediante apoyos y dispositivos elásticos.

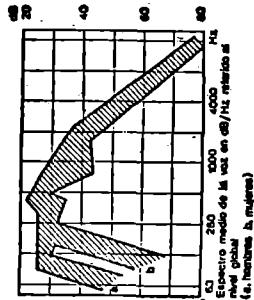
2.2.2.2 Actividades de las personas

Producen un ruido típico que se transmite fundamentalmente por la estructura, y cuyas características espectrales y de nivel dependen del tipo de pavimento, del calzado del ocupante y del ritmo de sus pisadas.

Generalmente es un ruido rico en bajas frecuencias, que se transmiten primordialmente al recinto subsiguiente y cuyo nivel de intensidad puede alcanzar en ciertos casos 55 dBA.

2.2.2.2.2 Conversación

Los niveles sonoros medios que produce la conversación, se cifran en 70 dBA, 76 dBA en los casos en que se fuerza la voz, pudiendo llegar a los 100 dBA en el caso de gritos. Su espectro se representa en la figura siguiente.



2.2.2.2.3 Equipos de reproducción sonora

Producen niveles de utilización comprendidos entre 65 y 70 dBA, aunque en algunos casos se pueden superar los 90 dBA. Su espectro, de función del tipo de programa emitido, aunque generalmente predominan las frecuencias bajas y medias.

2.2.2.2.4 Instrumentos musicales

Pueden producir niveles de utilización comprendidos entre 90 y 100 dBA con intensidades máximas localizadas en la banda de frecuencias comprendidas entre 50 y 1.500 Hz. En la función del ruido producido por ellos hay que considerar particularmente aquellos, que como el piano pueden transmitir una parte importante de la energía emitida a la estructura del edificio a través de sus apoyos, si no están aislados convenientemente.

2.2.2.2.5 Obras de acondicionamiento y reforma

Inciden fundamentalmente en el edificio por lo que, debido a su carácter esporádico deben ejecutarse a horas reguladas y permitidas, excepto en casos de emergencia justificada.

2.2.2.2.6 Otros ruidos domésticos

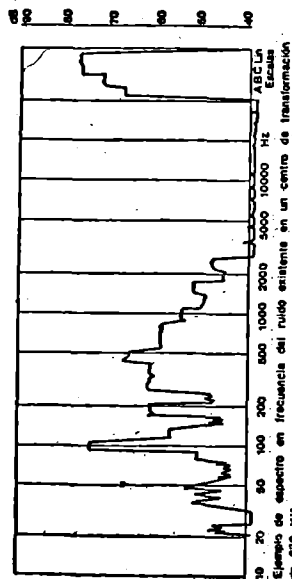
Se engloban en este epígrafe los ruidos producidos por los juegos de niños que son análogos a los de pisadas y puede estimarse que su nivel pueden alcanzar 60 dBA. Igual importancia tiene el arrastre de muebles que producen niveles en los recintos subsiguientes del orden de 65 dBA, el accionamiento de persianas enrollables que pueden cifrarse igualmente en 65 dBA o el ladrido de perros que puede alcanzar niveles del orden de 80 dBA.

2.2.1.6 Instalaciones eléctricas

En los sistemas de iluminación las fuentes de ruido se centran principalmente en las reactancias, tubos fluorescentes, interruptores y relés de conmutación de los temporizadores. Los ruidos producidos por las reactancias y fluorescentes pueden llegar a cifrarse en 60 dBA, siendo especialmente molestos, ya que emiten continuamente frecuencias discretas, amplificándose normalmente por defectos de montaje y de mantenimiento.

Los relés de conmutación producen ruidos impulsivos que llegan a alcanzar niveles de 75 dBA, cuya reducción exige el montaje mediante soportes elásticos, generalmente suplementados con blindaje adicional, revestido interiormente con material absorbente. Los centros de transformación ubicados en el interior de los edificios habitados constituyen en la mayoría de los casos una fuente importante de ruido y de vibraciones, por lo que los recintos en los que se alojan deben ser tratados acústicamente.

A continuación y a título de ejemplo se representa el espectro en escala de frecuencias y niveles del ruido existente en el interior de un centro de transformación de 630 kVA.



2.2.1.7 Instalaciones de transporte vertical

En las instalaciones de ascensores y montacargas el ruido se produce fundamentalmente en el cuarto de máquinas, y es tanto aéreo como estructural.

Su reducción requiere cuidar el emplazamiento y el aislamiento del cuarto de máquinas respecto al interior del edificio, estudiando especialmente el montaje antivibratorio de la maquinaria y la situación y tratamiento de las puertas de acceso.

2.2.1.8 Electromagnéticos

Estos aparatos generan ruido aéreo y estructural, siendo el primero el más perjudicial, con un espectro en el cual predominan las frecuencias bajas. Los niveles sonoros se aproximan a 70 dBA, excepto en el caso de los lavaplatos que pueden generar niveles de hasta 90 dBA y, cuya media puede cifrarse en 35 dBA aproximadamente inferior. Aparte de esto, las lavadoras y lavaplatos plantean problemas específicos debido a la toma y descarga de agua, por lo que tomas y desagües deben cuidarse especialmente. Ya sea por lo que tomas pueden sobrepasar en muchos casos el producido por las pizaciones propiamente dichas, igualmente importante es el problema relativo a la vibración que debe utilizarse con la mayor precisión posible a fin de que los equipos trabajen en condiciones óptimas de funcionamiento, con lo consiguiente disminución de ruido y vibraciones.

Anexo 3 Aislamiento acústico de los elementos constructivos

3.1 GENERALIDADES

El presente Anexo se refiere al comportamiento de los elementos constructivos verticales y horizontales en cuanto a su eficacia como aislantes acústicos.

En general es de señalar, por una parte, la escasez de datos reales obtenidos mediante ensayo, sobre el aislamiento proporcionado por las soluciones constructivas habituales en nuestro país, y por otra, la dificultad de obtener un conocimiento suficientemente preciso del comportamiento acústico de los elementos en obra, a partir de los resultados obtenidos en los análisis realizados en laboratorio. Por ello en el presente Anexo se formulan expresiones que sin garantizar valores exactos del aislamiento, proporcionan al técnico valoraciones que traducen suficientemente bien el comportamiento y la gradación genérica existente entre las distintas soluciones constructivas.

No obstante se preferirán los valores de aislamiento determinados mediante los ensayos en laboratorio citados en el Anexo 4, que prevalecerán sobre los de cálculo, y se tenderá a la elaboración de listados exhaustivos que detallan el aislamiento real proporcionado por las distintas soluciones constructivas.

En la elaboración de las Tablas que figuran en los epígrafes siguientes se han tenido en cuenta los pesos específicos más usuales de los materiales que se emplean en edificación.

Es de señalar que las Tablas desarrollan las distintas expresiones matemáticas de cálculo para tales pesos, debiendo por lo tanto realizarse los cálculos de forma analítica cuando los materiales y soluciones constructivas no se corresponden con las masas unitarias señaladas en cada Tabla.

3.2 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS VERTICALES

3.2.1 Particiones interiores

Son normalmente paramentos simples, constituidos por un material homogéneo, por mampuestos solidamente unidos o por elementos prefabricados.

El aislamiento acústico R exigible a estos elementos constructivos, se establece en el Artículo 10 de esta Norma.

Los valores del aislamiento proporcionado por estos paramentos se determinarán mediante ensayo. No obstante, y en ausencia de ensayo, puede decirse que el aislamiento acústico proporcionado por Particiones simples constituidas por mampuestos o materiales homogéneos, es función casi exclusiva de su masa siendo aplicables las ecuaciones siguientes que determinan el aislamiento R y R_w en dB, en función de la masa por unidad de superficie m , expresada en kg/m²:

$$R \leq 150 \text{ kg/m}^2 \quad R = 16,6 \log m \pm 2, \text{ en dB A} \quad [1]$$

$$m \geq 150 \text{ kg/m}^2 \quad R = 36,5 \log m - 41,5, \text{ en dB A} \quad [2]$$

Las particiones prefabricadas constituidas por elementos blandos a la flexión (frecuencia de coincidencia f_c 2-2.000 Hz), como fibras o virutas aglomeradas, cartón-yeso, etc., no responden a las ecuaciones anteriores. Su aislamiento es generalmente superior, dependiendo en gran parte de su diseño y realización, por lo que sus propiedades acústicas se determinarán y garantizarán mediante ensayo.

Tabla 3.1

Tipo de partición	Materia	Espesor en cm	Masa unitaria en kg/m ²	Aislamiento acústico en dB A en R_w
Tabique de ladrillo hueco sencillo	Ladrillo hueco sencillo	4	69	32
		6	60	32
		10	91	35
Tablón de ladrillo hueco	Bloques de hormigón	6,5	140	38
		9	165	39
		11	210	43
Cifera de ladrillo hueco	Cifera de ladrillo hueco	9	104	35
		11,5	131	37
1/2 pie de ladrillo hueco	1/2 pie de ladrillo hueco	14	143	38

(1) A excepción de los tabiques de placas de escayola, se han considerado las particiones guarnecidas y enlucidas por las caras con un espesor de 1,5 cm en cada lado.

3.2.2 Paredes separadoras de propiedades o usuarios distintos

El aislamiento mínimo exigible a estos elementos constructivos, se establece en el Artículo 11a de esta Norma.

3.2.2.1 Paredes simples

Es aplicable lo expuesto en el epígrafe 3.1 Particiones interiores.

A continuación, en la Tabla 3.2, se establecen los valores del aislamiento proporcionado por algunas soluciones constructivas usuales, determinados aplicando la ecuación [2] y los pesos específicos más usuales de estos materiales.

Tabla 3.2

Tipo de pared	Material	Espesor en cm	Masa unitaria en kg/m ²	Aislamiento acústico en dB A en R_w
Fábrica de ladrillo cerámico forado	Cifera 1/2 pie Asta 1 pie	11,5	202	43
		14	250	46
		24	364	52
		29	460	56
Fábrica de ladrillo cerámico macizo	Cifera 1/2 pie Asta 1 pie	11,5	242	46
		14	286	48
		24	444	55
		29	532	58
Fábrica de ladrillo de silicoalcali	Cifera Asta	11,5	252	46
		24	484	56
Fábrica de bloques de hormigón	Cifera Asta	14	225	44
		19	270	47
		29	370	52
Fábrica de hormigón armado	Cifera Asta	14	350	51
		18	450	55
		20	500	57
		24	600	60
		30	750	63

(1) A excepción de las fábricas de hormigón armado, se han considerado los paramentos guarnecidos y enlucidos con un espesor de 1,5 cm en cada lado.

3.2.2.2 Paredes compuestas.

Están constituidas por dos o más hojas simples. Para la determinación de su aislamiento, se aplicarán los criterios que se expresan a continuación para los distintos casos.

a) Paredes dobles de albanilería.

Formadas por dos o más hojas simples constituidas por mampusos o materiales homogéneos. Su aislamiento se determinará mediante ensayo, pudiendo en su defecto, utilizarse la expresión (2) en la que m es la masa total del elemento expresada en kg/m². Este aislamiento únicamente podrá utilizarse cuando se cumplan las siguientes limitaciones:

- La separación entre hojas debe ser superior a 2 cm.
- La masa de la hoja más ligera debe ser superior a 150 kg/m².
- Si entre ambas hojas existe una junta de dilatación, la masa de la hoja más ligera debe ser superior a 200 kg/m², o bien si se mantiene el valor límite de 150 kg/m², deben disponerse forjados, cuyo aislamiento a ruido aéreo y de impacto sea superior en 3 dBA al exigido a estos elementos constructivos en el Artículo 14 de esta Norma.

A continuación en la Tabla 3-3, se establecen los valores del aislamiento acústico proporcionado por algunas soluciones constructivas usuales, determinados aplicando la ecuación (2) y los pesos específicos más usuales de estos materiales.

Tabla 3-3

Pared de dos hojas iguales	Espesor de cada hoja en cm	Masa unitaria en kg/m ²	Aislamiento acústico R en dBA
De fábrica de ladrillo hueco	11,5	222	44
	14	246	46
De fábrica de bloques de hormigón	11	380	53
	14	410	54
	19	500	57

(1) Se han considerado los paramentos guarnecidos y enlucidos con un espesor de 1,5 cm en cada lado.

b) Paredes dobles constituidas por elementos blandos a la flexión.

Formadas por dos o más paredes simples, de montaje en seco constituidas por elementos blandos a la flexión (frecuencia de coincidencia $f_c > 2.000$ Hz).

Su aislamiento se determinará exclusivamente mediante ensayo. En orden a conseguir la máxima eficacia con este tipo de paramentos, se establecen las siguientes recomendaciones:

- Cada hoja estará soportada por elementos independientes entre sí, incluso en el paramento.
- La separación d , en cm, entre ambas hojas debe cumplir la siguiente expresión en la que m_1 y m_2 son las masas de las hojas expresadas en kg/m²:

$$d \geq 100 \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)$$

- La cámara debe albergar un material poroso no rígido, acústicamente absorbente.
- El conjunto debe ser estanco al aire.

c) Paredes dobles constituidas por una hoja de albanilería y otra blanda a la flexión.

Su aislamiento se determinará exclusivamente mediante ensayo. En orden a conseguir la máxima eficacia en este tipo de soluciones se establecen las siguientes recomendaciones:

- La masa del paramento de albanilería pesará al menos 150 kg/m².
- La hoja blanda a la flexión, incluidos sus soportes, deberá estar separada de la de albanilería una distancia d , en cm, indicada en la siguiente expresión, en la que m es la masa de la hoja blanda a la flexión expresada en kg/m²:

$$d \geq \frac{100}{m}$$

- La cámara debe albergar un material poroso no rígido, acústicamente absorbente.

3.2.3 Paredes separadoras de zonas comunes interiores.

3.2.4 Fachadas.

El aislamiento mínimo exigible a estos elementos constructivos, se establece en el Artículo 12 de esta Norma. Las soluciones constructivas más usuales y los valores del aislamiento que dichas soluciones proporcionan, son los establecidos en el epígrafe anterior.

El aislamiento acústico global de estos elementos constructivos, se establece en el Artículo 13 de esta Norma. Dicho aislamiento viene fundamentalmente condicionado por las ventanas, dado que se trata normalmente de paramentos mixtos cuyo aislamiento global es función de los aislamientos y de la relación de áreas de sus componentes, según se indica en el Anexo 1 de esta Norma. Es de resaltar que un incremento de 10 dBA sobre el aislamiento del elemento acústicamente más débil, es prácticamente el valor máximo que se puede esperar para el aislamiento global de fachadas normales, lo cual confirma el valor determinante de las ventanas y del acristalamiento, y lo razonable de mejorarlo a fin de conseguir aislamientos globales adecuados.

3.2.4.1 Partes ciegas.

Los valores del aislamiento de las partes ciegas que forman parte de fachadas, se determinarán de acuerdo con lo expuesto en el epígrafe 3.2.2, siendo aplicables, en caso de paramentos de dos o más hojas, las siguientes recomendaciones cuando se calcule el aislamiento mediante la expresión (2).

- La masa mínima de la hoja más pesada será al menos 200 kg/m², debiéndose recibir sobre ella las paredes simples o dobles, separadoras de propiedades distintas o de zonas comunes, y las particiones interiores.
- La separación d , en cm, entre ambas hojas, deberá cumplir la siguiente expresión, en la que m_1 y m_2 son las masas de las hojas, expresadas en kg/m²:

$$d \geq 45 \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)$$

- En todo caso, en este tipo de soluciones, es aconsejable incluir en la cámara un material poroso no rígido, acústicamente absorbente.

A continuación, en la Tabla 3.4, se establecen los valores del aislamiento proporcionado por algunas soluciones constructivas usuales, realizadas con fábricas de ladrillo y bloques, de hojas y cámara de aire, determinadas aplicando la ecuación (2) y los pesos específicos más usuales de estos materiales.

Tabla 3.4

a) Fábrica de ladrillo. Formato métrico.

Constitución de la pared		Hoja interior		Espesor de las hojas en cm		Masa unitaria total en kg/m ²		Aislamiento acústico R en dBA	
Hoja exterior		Exterior		Interior					
Cera	Cerámico hueco	Tabique Tabicón	11,5	4	170			40	
		Tabicón	11,5	9	205			43	
		Citera	11,5	11,5	232			45	
Cera	Cerámico perforado	Tabique Tabicón	11,5	4	211			43	
		Tabicón	11,5	9	246			46	
Cera	Cerámico macizo	Tabique Tabicón	11,5	4	251			46	
		Tabicón	11,5	9	286			48	
Cera	Silicocalcáreo	Tabique Tabicón	11,5	4	261			47	
		Tabicón	11,5	9	296			49	
Asta	Cerámico perforado	Tabique Tabicón	24	4	373			52	
		Tabicón	24	9	403			54	
Asta	Cerámico macizo	Tabique Tabicón	24	4	453			55	
		Tabicón	24	9	488			57	
Asta	Silicocalcáreo	Tabique Tabicón	24	4	473			56	
		Tabicón	24	9	508			57	

b) Fábrica de ladrillo. Formato catalán.

Constitución de la pared		Hoja interior		Espesor de las hojas en cm		Masa unitaria total en kg/m ²		Aislamiento acústico R en dBA	
Hoja exterior		Exterior		Interior					
Medio pie	Cerámico hueco	Tabique Tabicón Medio pie	14	4	182			41	
		Tabicón	14	9	217			44	
		Medio pie	14	14	256			46	
Medio pie	Cerámico perforado	Tabique Tabicón	14	4	259			47	
		Tabicón	14	9	294			49	
Medio pie	Cerámico macizo	Tabique Tabicón	14	4	295			49	
		Tabicón	14	9	330			50	
Medio pie	Cerámico perforado	Tabique Tabicón	29	4	469			56	
		Tabicón	29	9	504			57	
Medio pie	Cerámico macizo	Tabique Tabicón	29	4	541			58	
		Tabicón	29	9	576			59	

c) Fábrica de bloques de hormigón

Constitución de la pared.

Hoja exterior		Hoja interior		Espesor de las hojas en cm		Masa unitaria total en kg/m ²		Aislamiento acústico R en dBA	
Bloques de hormigón		Exterior		Interior					
Bloques de hormigón	Bloques de hormigón	14	6,5	335			51		
			11	340			52		
			14	405			54		
Bloques de hormigón	Bloques de hormigón	19	6,5	380			53		
			11	405			54		
			14	465			56		
Bloques de hormigón	Bloques de hormigón	29	6,5	480			56		
			11	505			57		
			14	565			59		

Para la confección de esta Tabla, se han tenido en cuenta las siguientes condiciones:

- (1) La cámara entre las dos hojas no será menor de 1 cm, pudiendo estar rellena parcial o totalmente por un material aislante térmico.
- (2) La hoja interior se ha considerado que está guarnecida y entucida con un espesor de 1,5 cm.
- (3) Cuando la hoja exterior es de ladrillo hueco, se ha considerado que está enfoscada con un espesor de 1,5 cm.

3.2.4.2 Ventanas.

Los valores del aislamiento proporcionados por las ventanas se determinarán mediante ensayo. No obstante y en ausencia de ensayo, el aislamiento proporcionado por las ventanas se determinará mediante las ecuaciones siguientes, en función del tipo de acristalamiento y de la clase de carpintería, según la clasificación que se establece en la NBE-CI: "Condiciones Térmicas en los Edificios".

a) Ventanas simples.

= Ventanas de carpintería sin clasificar.

R = 12 dBA.

= Ventanas de carpintería Clase A-1, y cualquier tipo de acristalamiento

R ≤ 15 dBA.

= Ventanas de carpintería Clase A-2 y acristalamiento de una o dos hojas separadas por cámara de aire.

R = 13,3 log e + 14,5, en dBA

donde:

e, es el espesor del acristalamiento si éste es de una sola hoja.
 La media de los espesores de las hojas, cuando sean dos, y la cámara de aire interior sea igual o menor de 15 mm.
 La suma de los espesores de las hojas cuando sean dos, y la cámara de aire interior sea mayor de 15 mm.

Ventanas de carpintería Clase A-2 y acristalamiento laminar constituido por hasta 4 láminas de vidrio, de espesor no superior a 8 mm cada una, unidas por cepas adhesivas plásticas de espesor superior a 0,4 mm.

R = 13,3 log e + 17,5, en dBA

donde:

e, es el espesor total del acristalamiento.

— Ventanas de carpintería clase A-3 y acristalamiento de una o dos hojas separadas por cámara de aire.

$$R = 13,3 \log e + 19,5, \text{ en dBA}$$

donde:

- e, es el espesor del acristalamiento, si éste es de una sola hoja.
 - La media de los espesores de las hojas, cuando sean dos, y la cámara de aire interior sea igual o menor de 15 mm.
 - La suma de los espesores de las hojas, cuando sean dos, y la cámara de aire interior sea mayor de 15 mm.
- Ventanas de carpintería Clase A-3 y acristalamiento laminar constituido por hasta 4 láminas de vidrio, de espesor no superior a 8 mm cada una, unidas por capas adhesivas plásticas de espesor superior a 0,4 mm.
- $$R = 13,3 \log e + 22,5, \text{ en dBA}$$
- donde:
- e, es el espesor total del acristalamiento.

b) Ventanas dobles.

Las ventanas dobles no responden a las condiciones reseñadas, por lo que su aislamiento se determinará exclusivamente mediante ensayo. No obstante es de señalar que en estas ventanas, dependiendo de su diseño, pueden alcanzarse valores altos de aislamiento.

A continuación, en la Tabla 3.5, se establecen los valores del aislamiento proporcionado por algunas soluciones constructivas usuales empleadas en ventanas con distinto acristalamiento, determinados aplicando las ecuaciones [3], [4], [5] y [6], y los pesos específicos más usuales de estos materiales.

Tabla 3.5

Tipo de acristalamiento	Espesor en mm	Masa unitaria en kg/m ²	Clase de Carpintería	Aislamiento acústico R en dBA
Sencillo	4	10	A-2	23
			A-3	28
	5	13	A-2	24
			A-3	29
	6	15	A-2	25
			A-3	30
	8	20	A-2	27
			A-3	32
	10	25	A-2	28
			A-3	33
15	37	A-2	30	
		A-3	35	
Doble (con cámara de espesor > 15 mm)	4+4	20	A-2	27
			A-3	32
	6+6	30	A-2	29
A-3			34	
10+5	37	A-2	30	
		A-3	35	
Laminar (varias hojas adheridas)	3+3	15	A-2	28
			A-3	33
	5+4	22	A-2	30
			A-3	35
	6+4	25	A-2	31
			A-3	36
	3+6+3	30	A-2	32
			A-3	37
	6+6+6	45	A-2	34
			A-3	39
	6+6+6+6	60	A-2	36
			A-3	41

3.2.5 Puertas

No se establecen en esta Norma exigencias de aislamiento mínimo a las puertas. Sin embargo puede ser conveniente conocer los valores de aislamiento que éstas proporcionan, por lo que se dan a continuación criterios para su estimación. Los valores del aislamiento proporcionado por las puertas se determinarán mediante ensayo.

No obstante, y en ausencia de ensayo, el aislamiento proporcionado en dBA por puertas macizas, metálicas o de madera y laminadas unidas por batidor, se determinará mediante la siguiente expresión matemática, en función de su masa m por unidad de superficie, expresada en kg/m².

$$R = 16,6 \log m + 8, \text{ en dBA} \quad [7]$$

En puertas especiales constituidas por laminados blandos a la flexión, de madera, fibras minerales o vegetales, cartón, anilato-cemento, etc., montados sin unión rígida entre láminas e incluyendo capas de material absorbente amortiguador, el aislamiento se determinará mediante la siguiente ecuación en función de su masa m por unidad de superficie expresada en kg/m².

$$R = 16,6 \log m + 2, \text{ en dBA} \quad [8]$$

Las ecuaciones [7] y [8] son aplicables a puertas provistas de juntas de estanqueidad, debiendo minorarse en 5 dBA los valores obtenidos en caso de carpinterías sin éstas. A continuación, en la Tabla 3.6, se establecen los valores del aislamiento proporcionado por algunos tipos de puerta usuales, determinados aplicando las ecuaciones [7] y [8] y sus pesos específicos más corrientes. Para las puertas cristalizadas será de aplicación lo reseñado en 3.2.4 para ventanas.

Tabla 3.6

Tipo de puerta	Espesor en mm	Masa unitaria en kg/m ²	Aislamiento acústico R en dBA
Madera ligera	35	21	14
	40	24	15
Madera densa	35	28	16
	40	32	17
Tablero contrachapado	35	19	13
	40	21	14
Tablero aglomerado	35	22	14
	40	25	15
Chapa de acero	1,2	9,5	8

En determinados casos, cuando dos espacios estén separados mediante distribuidor y dos puertas, puede considerarse que el aislamiento total es la suma de los aislamientos proporcionados por cada puerta.

3.3 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS HORIZONTALES

3.3.1 Elementos horizontales de separación

El aislamiento mínimo exigible a estos elementos constructivos, se establece en el Artículo 144 de esta Norma. Los valores del aislamiento al ruido aéreo y al impacto proporcionados por estos elementos constructivos, se determinarán mediante ensayo. No obstante y en ausencia de ensayo, el aislamiento al ruido aéreo proporcionado se determinará mediante la ecuación [2], en función de la masa m por unidad de superficie del conjunto techo-forjado-sojado, expresada en kg/m².

El nivel de ruido de impacto normalizado L_n en el espacio subyacente, considerado un aislamiento al ruido aéreo R, del elemento separador horizontal, se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$L_n = 135 - R, \text{ en dBA} \quad [9]$$

Tabla 3.3

Solución constructiva	Mejora de aislamiento a ruido de impacto en dBA
Zavamientos	2
Piástico (PVC, anilato v/infla)	6
Flotante de hormigón sobre fieltro	7
Piástico sobre corcho	8
Parquet de corcho	10
Piástico sobre espuma	11
Flotante de hormigón sobre fibra mineral	15
Moqueta	16
Flotante de parquet	18
Moqueta sobre fieltro	20
Moqueta sobre espuma	22
Techos	
Falso techo flotante	10

El aislamiento mínimo exigible a estos elementos constructivos, se establece en el Artículo 15^o de esta Norma. Los valores del aislamiento a ruido aéreo y al de impacto proporcionados por este elemento constructivo se determinarán mediante ensayo. No obstante, y en ausencia de ensayo, se considera válido lo expuesto en el epígrafe anterior.

Para facilitar los cálculos y la verificación del cumplimiento de las exigencias de esta Norma, se da a continuación un cuadro tipo en el que se expresan los distintos elementos constructivos que pueden existir en el proyecto del edificio, consignado, su masa unitaria y las características acústicas de cada uno de ellos. Los distintos tipos de elementos constructivos deberán ser fácilmente identificables en el resto de la Documentación Técnica del Proyecto.

Tabla 3.2

Las soluciones constructivas que cumplan lo establecido en la presente Norma respecto al ruido aéreo, no cumpliendo por el contrario la exigencia relativa al ruido de impacto, deberán complementarse con soldado amortiguador o flotante y/o techo acústico cuya mejora se determinará mediante ensayo. No obstante y en ausencia de ensayo, la mejora de aislamiento a ruido de impacto se establecerá de acuerdo con lo expuesto en la Tabla 3.3.

A continuación, en la Tabla 3.7, se establecen los valores del aislamiento proporcionado por algunas soluciones constructivas usuales, determinados aplicando las ecuaciones (2) y (9) y los pesos específicos más usuales de estos materiales.

Tipo de forjado	Espesor en mm	Masa unitaria en kg/m ²	Aislamiento a ruido aéreo R en dBA		Nivel de ruido de impacto Ln en el espacio subyacente en dBA		
			Con soldado de 80 kg/m ² y entuendo de techo	Con soldado de 60 kg/m ² de techo	Con soldado de 80 kg/m ² y entuendo de techo	Con soldado de 60 kg/m ² de techo	
Unidireccional de hormigón armado	Con bovedilla cerámica	170	47	46	86	89	
		180	48	47	87	88	
		200	49	48	86	87	
		230	50	49	85	86	
		250	51	50	84	85	
		280	52	51	83	84	
		300	53	52	82	83	
		310	54	53	81	82	
		330	55	54	80	81	
		350	55	54	80	81	
Con bovedilla de hormigón		190	48	47	87	88	
		220	50	49	85	86	
		250	51	50	84	85	
		280	53	52	82	83	
		300	54	53	81	82	
		330	55	54	80	81	
		350	55	55	80	80	
		380	56	56	79	79	
		400	57	56	78	79	
		450	57	56	78	79	
Sin bovedillas		150	46	45	89	90	
		170	47	46	88	89	
		200	48	47	87	88	
		230	49	48	86	87	
		250	50	49	85	86	
		280	50	49	85	86	
		300	51	50	84	85	
		330	52	51	83	84	
		350	53	52	82	83	
		400	53	52	82	83	
Reticular de hormigón armado	Con bovedilla cerámica	200	51	50	84	85	
		250	54	53	81	82	
		300	56	55	79	80	
		350	58	57	77	78	
	Sin bovedillas	200	49	48	86	87	
		250	52	51	83	84	
		300	54	53	81	82	
		350	56	55	79	80	
	Losa de hormigón armado		80	49	48	86	87
			100	51	50	84	85
		120	54	53	81	82	
		140	55	55	80	80	
		160	57	56	78	79	
		180	59	58	76	77	
		200	60	59	75	76	
		220	61	61	74	74	
		240	62	62	73	73	
		260	63	63	72	72	
	280	64	64	71	71		
	300	65	65	70	70		

3.3.2 Cubiertas

3.4 FICHA JUSTIFICATIVA

Anexo 4

Condiciones de los materiales

Este Anexo se refiere a los materiales cuyo empleo en la edificación se relaciona con las condiciones acústicas. El fabricante deberá garantizar que los materiales suministrados a continuación se ajustan, al menos, en el Sistema Internacional de Medidas, cumpliendo en su defecto los valores señalados en el Anexo 3. También se relacionan las distintos normas de ensayo.

4.1.1 Densidad aparente.

Es la relación entre la masa de la muestra en gramos y su volumen aparente en centímetros cúbicos. El fabricante indicará la densidad aparente de cada uno de sus productos.

4.2.1 Absorción acústica.

Definida en el Anexo 1. El fabricante de materiales cuya utilización específica sea la de absorbentes acústicos, indicará el coeficiente medio de absorción α , para las frecuencias preferentes y el coeficiente medio de absorción α_m del material.

4.2.2 Otras propiedades.

El fabricante podrá indicar además aquellas otras propiedades que puedan interesar en función del empleo y condiciones en que se va a colocar el material en cuestión, tales como:

- Conductividad térmica.
- Comportamiento frente al fuego.
- Resistencia a la compresión.
- Resistencia al choque blanco.
- Envejecimiento ante la humedad, el calor y las radiaciones.
- Perforación bajo carga (módulo de elasticidad).
- Coeficiente de dilatación lineal.
- Comportamiento frente a parásitos.
- Comportamiento frente a agentes químicos.

4.3.1 Aislamiento a ruido aéreo.

Definido en el Anexo 1. Se determinará mediante ensayo, pudiendo no obstante utilizarse los métodos de cálculo detallados en el Anexo 3. Se preferirán soluciones constructivas cuyo aislamiento a ruido aéreo se haya determinado mediante ensayo.

4.3.2 Aislamiento a ruido de impacto.

Definido en el Anexo 1. Se determinará mediante ensayo, pudiendo no obstante, utilizarse los métodos de cálculo detallados en el Anexo 3. Se preferirán soluciones constructivas, cuyo aislamiento a ruido de impacto se haya determinado mediante ensayo.

Los materiales de uso exclusivo como aislantes y acondicionadores acústicos, en sus distintas formas de presentación, se expedirán en envases que garanticen su transporte sin deterioro hasta su destino, debiendo indicarse en el etiquetado las características señaladas en los apartados anteriores.

El fabricante indicará en la documentación técnica de sus productos las dimensiones y tolerancias de los mismos. Para los materiales fabricados "in situ" se darán las instrucciones correspondientes para su correcta ejecución, que deberá correr a cargo de personal especializado, de modo que se garantice con las propiedades especificadas por el fabricante.

El fabricante garantizará las características acústicas básicas señaladas anteriormente. Esta garantía, se materializará mediante las etiquetas o marcas que preceptivamente deban llevar los productos según el epígrafe anterior.

El consumidor puede, a costa suya, encargar a un laboratorio que realice ensayos o análisis de comprobación y extienda el correspondiente certificado de los resultados obtenidos.

4.1 Características básicas exigibles a los materiales

Característica	Exigido
Densidad aparente	
Absorción acústica	
Otras propiedades	

4.2 Características básicas exigibles a los materiales específicamente acondicionados acústicos

Característica	Exigido
Aislamiento a ruido aéreo	≥ 30
Aislamiento a ruido de impacto	≥ 35
Resistencia al fuego	≥ 45
Resistencia a la compresión	≥ 45
Resistencia al choque blanco	≥ 55

4.3 Características básicas exigibles a las soluciones constructivas

Característica	Exigido
Aislamiento a ruido aéreo	≥ 33
Aislamiento a ruido de impacto	

4.4 Presentación, medidas y tolerancias

Característica	Exigido
Presentación	
Medidas	
Tolerancias	

4.5 Garantía de las características

Característica	Exigido
Garantía de las características	

Ficha justificativa del cumplimiento de la NBE-CA

El presente cuadro expone los valores del aislamiento y ruido aéreo de los elementos constructivos verticales, los valores del aislamiento global a ruido aéreo de las fachadas de los distintos locales, y los valores del aislamiento a ruido aéreo y el nivel de ruido de impacto en el espacio subyacente de los elementos constructivos horizontales, que cumplen los requisitos exigidos en los artículos 10^o, 11^o, 12^o, 13^o, 14^o, 15^o y 17^o de la Norma Básica de la Edificación - NBE-CA.81 "Condiciones Acústicas en los Edificios".

Elementos constructivos verticales	Masa en m ² / kg/m ²		Aislamiento acústico a ruido aéreo R en dBA	
	Proyectado	Exigido	Proyectado	Exigido
Particiones interiores (art. 10 ^o)				≥ 30
Particiones separadoras de propiedades acústicas (art. 11 ^o)				≥ 35
Paredes separadoras de zonas con usos distintos (art. 12 ^o)				≥ 45
Paredes separadoras de salas de máquinas (art. 17 ^o)				≥ 55

Elementos constructivos horizontales	Masa en m ² / kg/m ²		Aislamiento acústico a ruido aéreo R en dBA		Aislamiento acústico global a ruido aéreo R _g en dBA	
	Proyectado	Exigido	Proyectado	Exigido	Proyectado	Exigido
Fachadas (art. 13 ^o) (i)						≥ 33

Elementos constructivos horizontales	Masa en m ² / kg/m ²		Aislamiento acústico a ruido aéreo R en dBA		Nivel ruido impacto L _N en dBA	
	Proyectado	Exigido	Proyectado	Exigido	Proyectado	Exigido
Elementos horizontales de separación (art. 14 ^o)				≥ 45		≤ 80
Cubiertas (art. 15 ^o)				≥ 45		≤ 80
Elementos horizontales separadores de plantas de igual masa (art. 17 ^o)				≥ 55		

(i) El aislamiento global de estos elementos debe calcularse según lo expuesto en el Anexo 1.

4.6 Control, recepción y ensayos de los materiales

4.6.1 Suministro de los materiales.

Las condiciones de suministro de los materiales, serán objeto de convenio entre el consumidor y el fabricante, ajustándose a las condiciones particulares que figuren en el proyecto de ejecución. Los fabricantes, para ofrecer la garantía de las características mínimas exigidas anteriormente de sus productos, realizarán los ensayos y controles que aseguren el autocontrol de su producción. Los ensayos de recepción que según indica el apartado 4.5, el consumidor puede encargar de cada partida, se realizarán divididos de la partida en unidades de inspección de acuerdo con los apartados 4.6.3. y siguientes.

4.6.2 Materias con Sello o Marca de Calidad.

Los materiales que vengán avalados por Sellos o Marcas de Calidad, deberán tener la garantía por parte del fabricante del cumplimiento de los requisitos y características mínimas exigidas en esta Norma, para que pueda realizarse su recepción sin necesidad de efectuar comprobaciones o ensayos.

4.6.3 Composición de las unidades de inspección.

Las unidades de inspección estarán formadas por materiales del mismo tipo y proceso de fabricación. La superficie de cada unidad de inspección es de acuerdo en contrario la fijada al consumidor.

4.6.4 Toma de muestras.

Las muestras para preparación de las probetas utilizadas en los ensayos se tomarán de productos de la unidad de inspección sacados al azar. La forma y dimensiones de las probetas serán las que seale para cada tipo de material la Norma de ensayo correspondiente.

4.6.5 Normas de ensayo.

Las Normas UNE que a continuación se indican se emplearán para la realización de los ensayos correspondientes. Asimismo se emplearán en su caso las Normas UNE que la Comisión Técnica de Aislamiento Acústico del INAHOR CT-74, redacta con posterioridad a la publicación de esta NBE.

a) Ensayo de Aislamiento a ruido aéreo.

- UNE 74040/I** Medida del aislamiento acústico de los edificios y elementos constructivos. Parte I. Especificaciones relativas a los laboratorios.
- UNE 74040/II** Medida del aislamiento acústico de los edificios y elementos constructivos. Parte II. Especificaciones relativas a la fidelidad.
- UNE 74040/III** Medida del aislamiento acústico de los edificios y elementos constructivos. Parte III. Medida en laboratorio del aislamiento al ruido aéreo de los elementos constructivos.
- UNE 74040/IV** Medida del aislamiento acústico de los edificios y elementos constructivos. Parte IV. Medida "in situ" del aislamiento al ruido aéreo de las elementas constructivos.
- UNE 74040/V** Medida del aislamiento acústico de los edificios y elementos constructivos. Parte V. Medida "in situ" del aislamiento al ruido aéreo de las fachadas y de sus componentes.

b) Ensayo de Aislamiento a ruido de impacto.

- UNE 74040/VI** Medida del aislamiento acústico de los edificios y elementos constructivos. Parte VI. Medida en laboratorio del aislamiento de los suelos al ruido de impacto.
- UNE 74040/VII** Medida del aislamiento acústico de los edificios y elementos constructivos. Parte VII. Medida "in situ" del aislamiento de los suelos al ruido de impacto.
- UNE 74040/VIII** Medida del aislamiento acústico de los edificios y elementos constructivos. Parte VIII. Medida en laboratorio de la reducción de la transmisión de los ruidos de impacto por los revestimientos de brea forjada normalizada.

c) Ensayo de materiales absorbentes acústicos. UNE 74041 Medida de los coeficiente de absorción en cámara reverberante.

d) Ensayo de permeabilidad al aire en ventanas. UNE 85-208-80 Clasificación de las ventanas de acuerdo con su permeabilidad al aire.

Los ensayos citados, de acuerdo con las Normas UNE establecidas, se realizarán en laboratorios reconocidos a este fin por el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

4.7 Laboratorios de ensayo

5.4 Tiempo de reverberación

En la Tabla 5.3, se fijan los tiempos de reverberación recomendados, en segundos, para los distintos locales habitables de diversos tipos de edificios.

Tabla 5.3

Tipo de edificio	Local	Tiempo de reverberación a recomendar, en segundos
Residencial privado	Estancias	1,0
	Dormitorios	1,0
	Servicios Zonas comunes	1,5
Residencial público	Zonas de estancia	1,0
	Dormitorios	1,0
	Servicios Zonas comunes	1,5
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales	1,0
	Oficinas Zonas comunes	1,5
Sanitario	Zonas de estancia	0,8
	Dormitorios Zonas comunes	1,5
Docente	Aula	0,8
	Sala Lectura Zonas comunes	1,5

**Anexo 5
Recomendaciones**

El presente Anexo tiene por objeto establecer los niveles de inmisión de ruido aéreo y de vibración que se recomienda no sobrepasar en los distintos locales, así como fijar los tiempos de reverberación aconsejables, de acuerdo todo ello, con las recomendaciones señaladas por la Comisión Económica para Europa, del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas.

En la Tabla 5.1, se fijan los niveles sonoros continuos equivalentes Leq, de inmisión de ruido aéreo, que se recomienda no sobrepasar en los locales.

Tabla 5.1

Tipo de edificio	Local	Nivel Leq máximo de inmisión recomendado en dBA	
		Durante el día (8-22 H)	Durante la noche (22-8 H)
Residencial privado	Estancias	45	40
	Dormitorios	40	30
	Servicios Zonas comunes	50	-
Residencial público	Zonas de estancia	45	30
	Dormitorios	40	-
	Servicios Zonas comunes	50	-
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales	40	-
	Oficinas Zonas comunes	45	-
Sanitario	Zonas de estancia	45	-
	Dormitorios Zonas comunes	30	25
Docente	Aulas	40	-
	Sala Lectura Zonas comunes	35	-

5.2 Nivel de inmisión de ruido producido por las instalaciones. Los niveles máximos, L_{max}, de inmisión de ruido producido por las instalaciones que se recomienda no sobrepasar en los locales son los expresados para el nivel sonoro continuo equivalente, en Leq, en la Tabla 5.1.

5.3 Nivel de vibración. En la Tabla 5.2, se fijan las vibraciones máximas que se recomen- da no sobrepasar en los locales habitables.

Tabla 5.2

Area	Valor máximo Recomendado de K
Area de reposo durante la noche	0,1
Area vividora	5

En todo caso y en cualquier área y/o situación, se tolerará que K = 10, en impulsos en número inferior a tres por día.