

AISLAMIENTO ACÚSTICO: PRINCIPIOS TEÓRICOS

1 Introducción

El aislamiento acústico es la protección de una habitación para evitar una fuente de sonido. Podemos distinguir dos tipos de aislamiento acústico: el aislamiento para protegernos contra los sonidos transmitidos por el aire – por ejemplo, el ruido del tráfico – y el que evita los sonidos producidos por impactos provocados por el contacto directo de un objeto sobre un elemento de construcción – por ejemplo, la lluvia cuando choca contra el acristalamiento -. La Figura 1 muestra ambos tipos de aislamiento acústico en dos habitaciones contiguas.

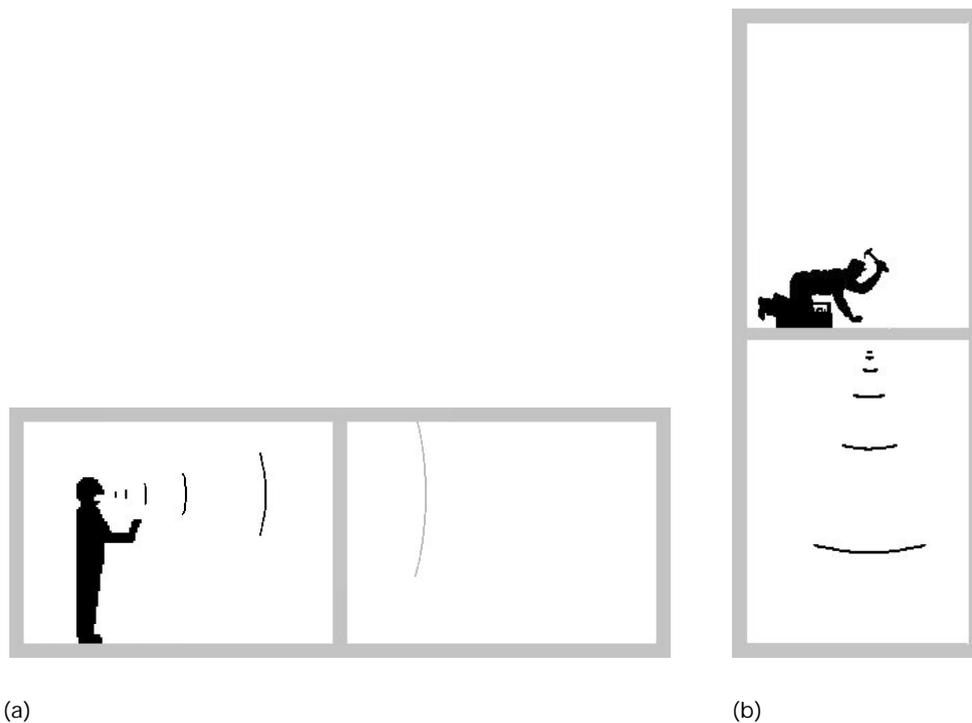


Figura 1 : aislamiento acústico para protegernos contra el sonido transmitido por el aire (a) aislamiento acústico para evitar el sonido por impactos (b) en dos habitaciones contiguas.

Como las fachadas de las viviendas son muy propensas para transmitir los sonidos propagados a través del aire, en este documento sólo vamos a ocuparnos de ese tipo de aislamiento acústico.

El aislamiento acústico de un elemento de construcción para protegernos contra los sonidos propagados a través del aire se determina por la diferencia entre el nivel acústico de la habitación en donde se encuentra la fuente de sonido (la habitación emisora en la figura 2) y la habitación

protegida por el elemento de construcción utilizado para mitigar esa fuente de sonido (habitación receptora en la figura 2). El aislamiento acústico depende de la frecuencia de la fuente de sonido.

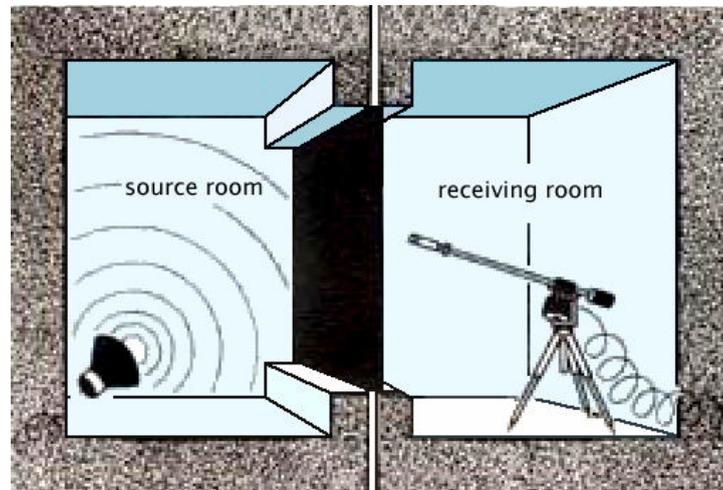


Figura 2 : medición del aislamiento acústico de un elemento de construcción para protegernos contra sonidos que se propagan a través del aire.

El nivel del sonido se expresa en decibelios (dB) y determina la 'potencia' de la fuente acústica. El silbido de un pájaro (50 dB) es, por ejemplo, más fuerte que el sonido de una hoja al caer (10 dB); la tecla de un piano se puede presionar con suavidad o con fuerza.

El sonido puede tener una única frecuencia (como es el caso de, por ejemplo, las notas musicales), pero normalmente se compone de una serie de frecuencias diferentes (por ejemplo, el ruido del tráfico). La frecuencia se expresa en hertzios (Hz) y determina el 'tono' de la fuente de sonido. Las frecuencias se pueden dividir en tres categorías: tonos bajos, tonos medios y tonos altos (figura 3). La gama de frecuencias del tráfico rodado urbano se concentra alrededor de los tonos bajos, y el silbido de una tetera está formado por tonos altos. La Figura 3 muestra algunos ejemplos de fuentes de sonido según su potencia y gama de frecuencias.

En primer lugar, este documento analiza la descripción del aislamiento acústico para protegernos contra los sonidos que se propagan a través del aire. A continuación, nos ocuparemos de este tipo de aislamiento y, para concluir, estudiaremos los factores que influyen en el aislamiento acústico para protegernos contra los sonidos que se propagan a través del aire.

sound level [dB]

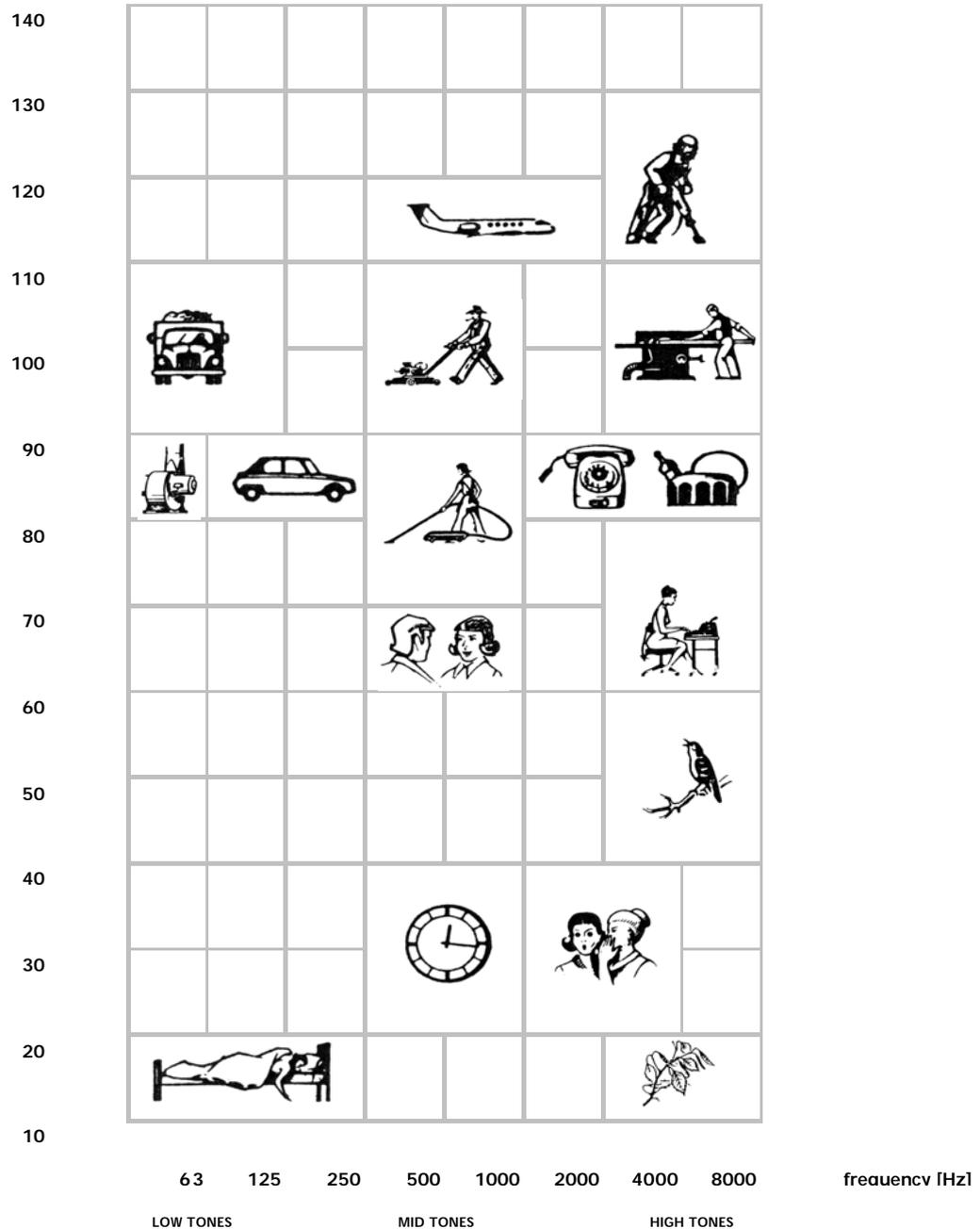


Figura 3 : ejemplos de fuentes de sonido divididas en niveles acústicos y gamas de frecuencia.

2 Descripción

A la hora de definir el aislamiento acústico para protegernos contra los sonidos que se propagan a través del aire, la documentación técnica muestra generalmente un conciso rendimiento global, en vez de realizar un listado según las frecuencias. El estándar europeo EN ISO 717-1 describe un

método para definir el aislamiento acústico para protegernos contra los sonidos que se propagan a través del aire analizando la cifra resultante de la siguiente fórmula

$$R_w (C; C_{tr})$$

En donde:

R_w es el índice ponderado de reducción de sonido expresado en dB,

C es el término de adaptación para el ruido rosa (es decir, el sonido con predominio de tonos medios y altos) y

C_{tr} es el término de adaptación para el ruido de tráfico rodado (es decir, el sonido con predominio de tonos medios y bajos).

Debemos elegir el término de adaptación apropiado (tabla 1) según la naturaleza de la fuente de sonido de la que deseamos aislarnos. El aislamiento acústico para protegernos contra los sonidos que se propagan a través del aire lo obtendremos sencillamente sumando el índice ponderado de reducción del sonido y el término de adaptación, es decir, $R_w + C$ o $R_w + C_{tr}$. Cuanto mayor sea el valor de $R_w + C$ o $R_w + C_{tr}$, obtendremos un mejor aislamiento acústico para protegernos contra los sonidos que se propagan a través del aire. Si, por ejemplo, el rendimiento acústico de una ventana es 40 (-2; -6) dB y deseamos aislarnos de la música disco, el aislamiento acústico para protegernos contra los sonidos que se propagan a través del aire debería ser $40 - 6 = 34$ dB.

Tabla 1 : término de adaptación para diferentes fuentes de ruido.

Tipo de fuente de sonido	Término de adaptación
Actividades cotidianas (hablar, música, radio) Niños jugando Tren a velocidad media y alta Ruido de autopista > 80 km/h Ruido de aviones a corta distancia Fábricas con ruidos de frecuencias medias y altas	C
Tráfico rodado en ciudad Trenes a baja velocidad Aviones de hélice Aviones a gran distancia Música disco Fábricas con ruidos de frecuencias medias y bajas	C_{tr}

Sin embargo, el aislamiento acústico de una ventana instalada en una vivienda para protegernos contra los sonidos que se propagan a través del aire es normalmente menor que el aislamiento medido en un laboratorio. A continuación mostramos algunas causas que explican este fenómeno. La fachada de una vivienda está generalmente compuesta por diferentes elementos de construcción (como, por ejemplo, la ventana en una pared) y, por lo tanto, el aislamiento acústico que ofrece la combinación de todos esos elementos para protegernos contra los sonidos que se propagan a

través del aire determina el rendimiento acústico definitivo. Asimismo, el índice de reducción del sonido se mide en un laboratorio con, normalmente, unas características diferentes a las de la construcción real. El área total de la ventana es generalmente diferente a la que ofrece el laboratorio. Además de esto, el sonido no sólo se propaga directamente a través de la ventana, sino que también sigue unas rutas indirectas, transmitiéndose también por el suelo o el techo (figura 4). Esta transferencia acústica se denomina transmisión del sonido por los flancos.

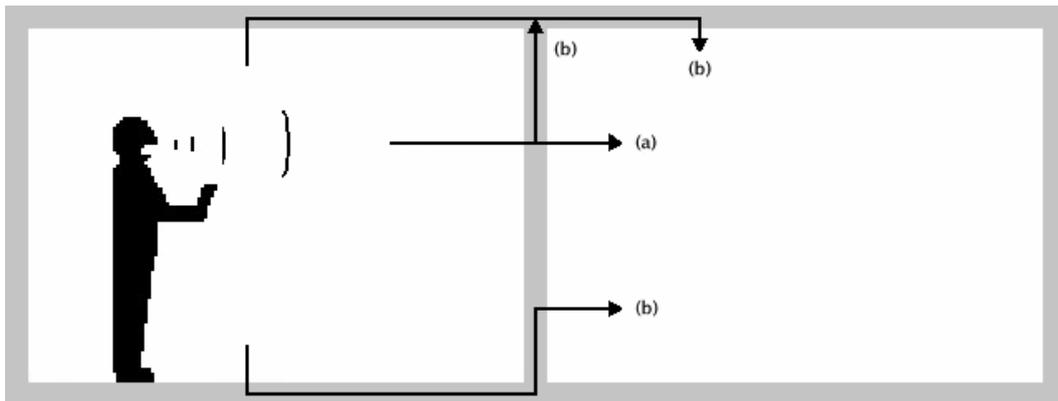


Figura 4 : transmisión de sonido de forma directa (a) y por los flancos (b).

3 Importancia

El aislamiento acústico para protegernos contra los sonidos que se propagan a través del aire es un tema de importancia cuando deseamos combatir las molestias producidas por los ruidos (figura 5). El sonido resulta molesto cuando lo experimenta una persona en contra de su voluntad en un momento determinado. Las principales consecuencias de una molestia acústica sobre una persona son: influencia sobre la audición (sensación de dolor, reducción de sensibilidad acústica...), influencia sobre otros órganos sensoriales (problemas de equilibrio...), consecuencias psíquicas (episodios de ansiedad...), efectos fisiológicos (problemas neurovegetales ...) e influencia en el sueño.

La comodidad acústica se asocia con el máximo nivel de sonido permitido. Esta limitación depende en gran medida en la naturaleza de la fuente de sonido, el ruido de fondo, la persona y las actividades que realiza. A continuación explicamos brevemente cada uno de estos factores.



Figura 5 : molestia acústica.

3.1 Naturaleza de la fuente de sonido

La molestia acústica depende de la potencia del ruido, además de su gama de frecuencias y sus fluctuaciones a lo largo del tiempo.

El oído humano no percibe todas las frecuencias de la misma manera, aunque el nivel de sonido sea el mismo (figura 6). Una persona experimenta, por ejemplo, un tono de 100 Hz con mayor suavidad que un tono de 1000 Hz. El nivel de sonido percibido por el oído no se corresponde con el nivel acústico medido físicamente. La reducción del ruido a la mitad se corresponde a una reducción física con 3dB en el nivel acústico, y esto es sólo una diferencia perceptible por el oído humano. Una reducción de 10 dB reduce a la mitad el ruido que percibe el oído humano. 5 dB es una diferencia notable para nuestra percepción.

Las curvas de Fletcher y Munson muestran los niveles acústicos percibidos en función de la frecuencia y el nivel físico del sonido (figura 7).

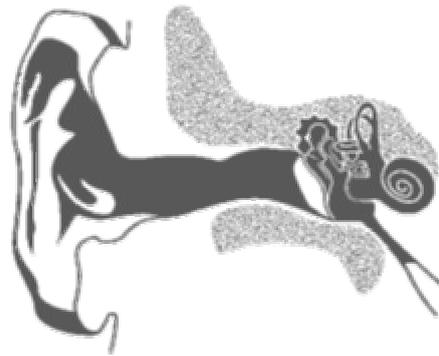


Figura 6 : el oído humano.

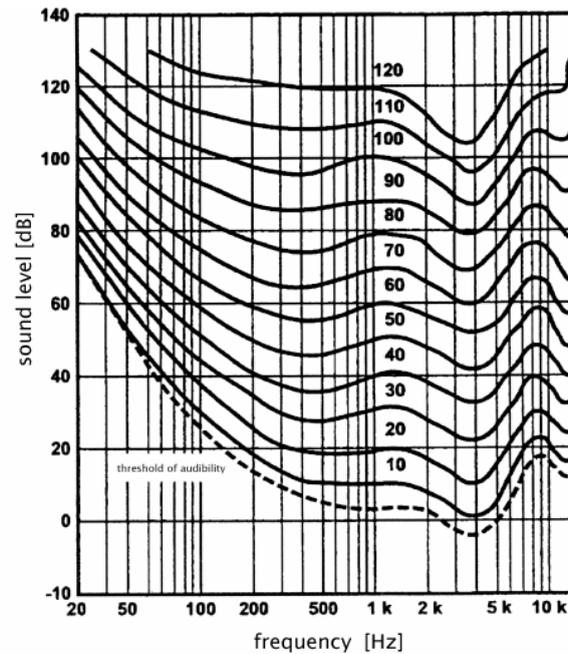


Figura 7 : las curvas de Fletcher y Munson.

La duración de los eventos acústicos y la frecuencia con la que ocurren tiene también un papel de importancia en la sensación de molestia. Así, un avión que pasa por encima dos veces al día puede resultar más molesto que una aeronave más ruidosa pero que sólo pasa una vez al día.

3.2 Ruido de fondo

Otro asunto de importancia es la magnitud relativa de la fuente de sonido comparada con el ruido de fondo en la habitación. Una motocicleta que pasa resulta más molesta en un entorno rural que en la ciudad.

3.3 La persona

Los aspectos psicológicos también ejercen su influencia en la sensación de ruido. El ruido de los aviones parece a menudo más molesto que el ruido de la ciudad, aunque ambos tienen el mismo nivel de sonido perceptible. Probablemente, una causa para explicar este hecho es el temor que tenemos a que uno de estos aparatos pueda caerse. Otro fenómeno de interés tiene que ver con las personas que han estado sometidas a una molestia específica determinada durante un largo período de tiempo, ya que estos individuos parecen, a menudo, acostumbrarse a esta molestia.

3.4 La actividad que se realiza

Dormir o estudiar son actividades que requieren una mayor comodidad acústica que, por ejemplo, afeitarse o planchar.

4 Especificación

El aislamiento acústico de las ventanas para protegernos contra los sonidos que se propagan a través del aire depende del tipo y tamaño de la ventana, así como del aislamiento acústico del acristalamiento y del marco. A continuación nos ocuparemos en breve de estos temas.

4.1 Influencia del tipo de ventana

Las ventanas se diferencian unas de otras porque pueden estar subdivididas y/o tener hojas. Cada componente de la construcción tiene una cierta influencia en el aislamiento acústico de la ventana completa.

Las ventanas que pueden abrirse y cuentan con cierres perfectos ofrecen unos 2-3 dB de aislamiento acústico por encima del que ofrecen las ventanas fijas. Un estudio ha puesto de manifiesto este fenómeno, indicando que las juntas actúan como elementos de soporte en las hojas de la ventana. La sección 4.4.2 se ocupa de este tema en mayor profundidad.

La experiencia muestra que el aislamiento acústico de las ventanas sencillas se limita a 45 dB, independientemente del tipo de acristalamiento que tengan. Una segunda ventana de guillotina o una doble ventana son algunas de las posibilidades que existen para aumentar el aislamiento acústico hasta 50 dB (figura 8). Estas ventanas dobles están compuestas por una ventana principal y una segunda hoja o ventana, con una amplia cámara de aire estanca entre ambas. Las cámaras de aire son, generalmente, de 50 a 200 mm. Si los bordes interiores se rellenan con material absorbente acústico, podríamos obtener una mejora general de 2-6 dB, dependiendo de la superficie y de las características de absorción del elemento utilizado.

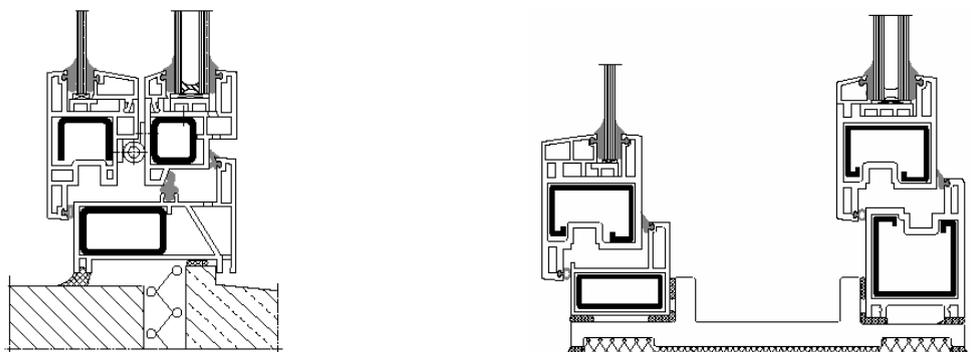


Figure 8: ejemplos de doble ventana.

4.2 Influencia del tamaño de la ventana

El tamaño de la ventana utilizada para realizar una prueba acústica, según los estándares europeos, es de 1230 × 1480 mm. Este tamaño difiere a menudo del tamaño de las ventanas que se colocan en las viviendas. El aumento en el tamaño de las ventanas puede ser un factor que explica el empeoramiento del rendimiento acústico.

4.3 Influencia del acristalamiento

El aislamiento acústico de la ventana se mejora cuando aumenta el aislamiento del acristalamiento. Sin embargo, el máximo aislamiento acústico que puede ofrecer un acristalamiento es de 50 dB (ver sección 4.4.1). En esta sección nos ocupamos de las condiciones de los bordes y los diferentes tipos de acristalamiento.

4.3.1 Condiciones para el montaje

El método utilizado para el montaje del acristalamiento en un marco puede afectar a su rendimiento acústico. El montaje rígido de los bordes de los cristales puede producir un menor índice de la reducción acústica en comparación con el empleo de una masilla blanda. Si seguimos estas indicaciones, podemos obtener una diferencia de 2 dB en el aislamiento acústico de un acristalamiento 4/16/4 con dimensiones estándar 1230 × 1480 mm

4.3.2 Acristalamiento sencillo

En general, el rendimiento acústico de un acristalamiento sencillo aumenta con su grosor (tabla 2). El aislamiento acústico de las fuentes de sonido definidas por C es algo mayor que el aislamiento de fuentes de sonido definidas por G_r . Si el grosor del acristalamiento aumenta de 4 a 19 mm, obtendremos un aislamiento acústico adicional de ca. 7 dB.

Tabla 2 : rendimiento acústico de un acristalamiento sencillo.

grosor [mm]	R_w [dB]	$R_w + C$ [dB]	$R_w + C_{tr}$ [dB]
4	30	29	27
5	30	29	28
6	31	30	29
8	32	31	30
10	33	32	31
12	34	34	32
19	37	36	34

4.3.3 Acristalamiento térmico

Entendemos por acristalamiento térmico cualquier tipo de acristalamiento desarrollado para obtener un mejor rendimiento térmico (como, por ejemplo, la doble o triple ventana, el acristalamiento recubierto, los vidrios con gases para aislamiento térmico, etc...).

En general, los acristalamientos térmicos ofrecen un mejor rendimiento acústico cuando se aumenta el grosor de cada uno de sus vidrios y se aumenta la cámara de aire que existe entre ellos. La tabla 3 muestra esta característica con algunos ejemplos. Parece que el grosor de los vidrios resulta más eficiente en el acristalamiento térmico estándar. Sin embargo, este principio parece no tener validez con el empleo de grandes cámaras de aire. Si comparamos las tablas 2 y 3, resulta evidente que, con el mismo grosor total del acristalamiento, el doble acristalamiento estándar tiene un menor aislamiento acústico que el acristalamiento sencillo.

El triple acristalamiento no mejora el aislamiento acústico si lo comparamos con el doble acristalamiento, a menos que tengamos grandes cámaras de aire entre los vidrios.

Tabla 3 : rendimiento acústico del doble acristalamiento.

tipo	R_w [dB]	$R_w + C$ [dB]	$R_w + C_{tr}$ [dB]
4-12-4	30	30	27
4-16-4	30	30	27
6-12-6	33	32	30
6-16-6	33	32	28
8-12-8	34	32	31
8-16-8	34	33	30

4.3.4 Acristalamiento acústico

Entendemos por acristalamiento acústico cualquier tipo de acristalamiento desarrollado para obtener un mejor rendimiento acústico. Un acristalamiento puede ser acústico y térmico al mismo tiempo.

La primera forma que podemos utilizar para mejorar el aislamiento acústico de un acristalamiento es la combinación de vidrios de diferente tamaño. Estos acristalamientos ‘asimétricos’ producen una diferencia apreciable si los comparamos con el doble acristalamiento estándar con vidrios del mismo grosor (tabla 4).

Tabla 4 : rendimiento acústico del acristalamiento asimétrico.

tipo	R_w [dB]	$R_w + C$ [dB]	$R_w + C_{tr}$ [dB]
4-12-6	33	32	29
4-12-8	34	33	30
4-16-8	35	34	30
6-12-8	35	33	30
6-12-10	37	36	33

Otra forma para mejorar el rendimiento acústico del acristalamiento es mediante el empleo de cristales laminados. Los cristales laminados están compuestos de hojas de vidrio unidas por una capa elástica transparente. En este texto, indicamos como 33.1 dos hojas de vidrio de 3 mm de grosor divididas por una capa elástica. Una capa doble sería 33.2. El acristalamiento laminado sencillo puede producir una gran diferencia, especialmente en fuentes de sonido definidas por C (tabla 5). Podemos extraer la misma conclusión cuando se lamina una hoja de vidrio en doble acristalamiento.

Tabla 5 : rendimiento acústico del acristalamiento laminado.

tipo	R_w [dB]	$R_w + C$ [dB]	$R_w + C_{tr}$ [dB]
33.1	36	35	33
44.1	37	36	35
6-12-33.1	37	36	32
8-12-44.1	40	38	35
8-12-44.2	40	39	35

Por último, podemos sustituir el aire seco en doble o triple acristalamiento por gases especiales (como, por ejemplo, el SF₆...). En general, estos gases crean un mejor aislamiento acústico para fuentes de sonido definidas por C. Las fuentes de sonido definidas por G_r se aíslan menos normalmente.

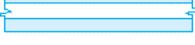
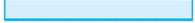
Estas tres técnicas se pueden también combinar para obtener incluso un mejor rendimiento acústico. La Tabla 6 muestra una serie de acristalamientos que son ambos laminados y asimétricos.

Tabla 6 : rendimiento acústico del acristalamiento asimétrico y laminado.

tipo	R _w [dB]	R _w + C [dB]	R _w + C _{tr} [dB]
4-12-33.1	34	33	30
6-12-44.1	38	37	33
44.2-20-64.2	47	45	40

La Tabla 7 clasifica los diferentes tipos de acristalamiento según su rendimiento acústico.

Tabla 7 : aspectos generales del rendimiento acústico en diferentes tipos de acristalamiento.

Performance	R_w [dB]	Glazing - typicle forms of construction
Low	30 - 34	 4mm single float (sealed)
		 6mm single float (sealed)
		 4/12/4: 4mm glass/12mm air gap/4mm glass
		 6/12/6: 6mm glass/12mm air gap/6mm glass
		 10mm single float (sealed)
		 12mm single float (sealed)
		 8/12/16: 8mm glass/12mm air gap/16mm glass
Medium	35 - 39	 10mm laminated single float (sealed)
		 4/12/10: 4mm glass/12mm air gap/10mm glass
		 6/12/10: 6mm glass/12mm air gap/10mm glass
		 12mm laminated single float (sealed)
High	40 - 44	 10/12/6.4 lam: 10mm glass/12mm air gap/6.4mm lam
		 19mm laminated single float (sealed)
		 10/50/6: 10mm glass/50mm air gap/6mm glass
Specialist	45 - 49	 10/100/6: 10mm glass/100mm air gap/6mm glass
		 12 lam/12/10: 12mm laminated glass/12mm air gap/10mm glass
		 6/200/10: 6mm laminated glass/200mm air gap/10mm + absorptive reveals
		 17 lam/12/10: 17mm laminated glass/12mm air gap/10mm glass

4.4 Influencia del marco

4.4.1 Influencia global

El estándar alemán E DIN 4109 muestra los valores R_w requeridos para el acristalamiento como una función del aislamiento acústico que deseamos obtener con la ventana. Esta lista se basa en el tratamiento estadístico de miles de medidas. La Figura 9 muestra este listado relacionado con ventanas sencillas con acristalamiento aislante. Está claro que siempre que el R_w de una ventana se encuentra por debajo de 38 dB, el marco tiene un efecto positivo sobre el R_w del acristalamiento. Por encima de 41 dB, el efecto del marco se vuelve negativo. El estándar alemán también menciona

unas correcciones a esos valores como una función del material del marco, el tamaño de la ventana, el área relativa del marco y la posibilidad de abrir la ventana. Los mecanismos para ventilación no se tienen en cuenta.

El aislamiento acústico del marco se puede mejorar aumentando la masa por área (por ejemplo, mediante un refuerzo), aumentando la rigidez de la flexión del marco, proporcionando unos puntos de cierre suficientes y uniformemente distribuidos o haciendo que el marco sea más hermético al aire.

Las ventanas sencillas no pueden obtener un valor R_w superior a 45 dB, incluso si el aislamiento del acristalamiento supera los 50 dB. Los valores más altos dependen del mismo concepto de ventana, lo que hace necesario una asesoría especial.

La Figura 9 también muestra un valor factible de $R_w + C_{tr}$ de una ventana como función del R_w del acristalamiento. Este valor factible representa el aislamiento acústico real en la vivienda construida y difiere en unos 2 dB respecto al valor medido en un laboratorio. En este caso, no se puede obtener un aislamiento acústico por encima de 38 dB, incluso con mejor acristalamiento aislante.

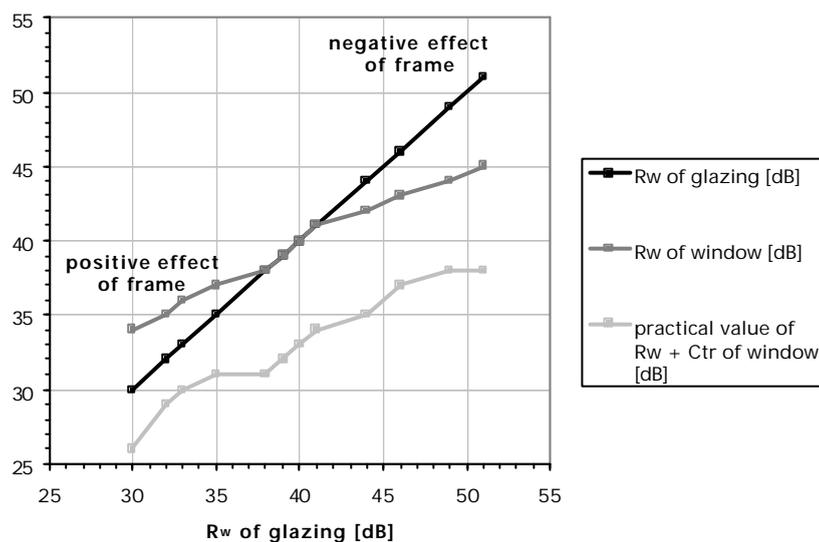


Figura 9 : Efecto del marco en el aislamiento acústico de las ventanas.

4.4.2 Influencia de las juntas

Se deben tener en cuenta dos aspectos principales relacionados con las juntas: las juntas entre el marco y la ventana de guillotina como ruta directa para la transmisión del sonido y las juntas que actúan como soporte atenuante de la hoja de la ventana.

El primero de estos aspectos depende en gran medida de la hermeticidad al aire de la ventana. El aislamiento acústico de las ventanas disminuye entre 0 y 7 dB cuando su permeabilidad al aire es menor que la clase 4 (clasificación según el estándar EN 12207). Esta reducción tiene un efecto especial en el aislamiento de fuentes de sonido determinadas por C, sobre todo en el caso de ventanas con cristales de gran aislamiento.

La reducción en la hermeticidad al aire puede ser causada por pequeñas ranuras en las juntas necesarias para la ventilación, descompresión o colocación del soporte físico (figura 10).

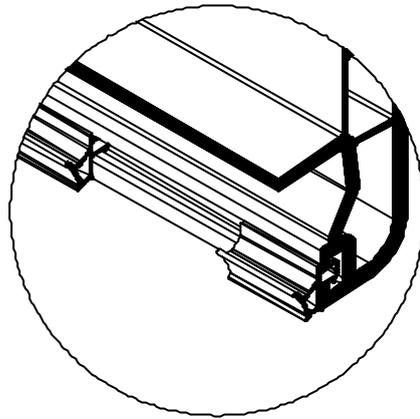


Figura 10: para ofrecer descompresión se efectúan pequeñas ranuras en las juntas.

La deficiente hermeticidad al aire se puede producir por una mala conexión de las juntas con los perfiles de PVC (figura 11). Una mala conexión puede surgir cuando la rigidez de la flexión de los perfiles resulta insuficiente, o cuando se encuentran disponibles insuficientes puntos de cierre para asegurar la mayor y más uniforme presión de cierre en toda la zona total de **rebate**. Una buena conexión también precisa unas juntas siempre flexibles y resistentes a las inclemencias meteorológicas.

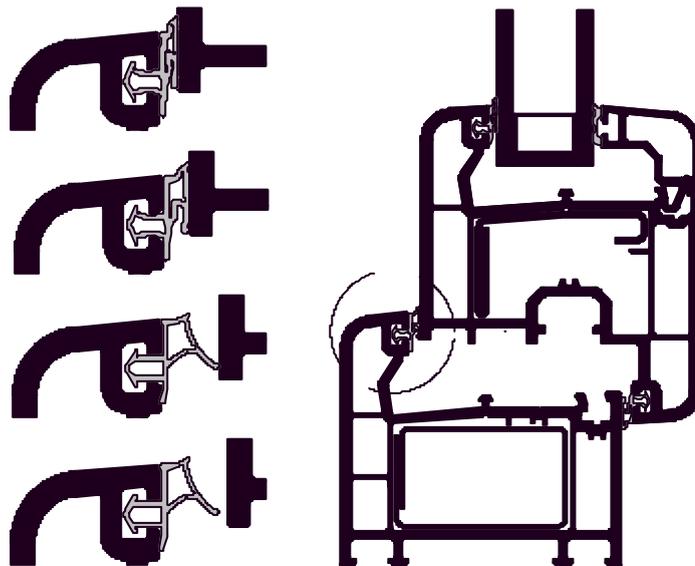


Figura 11: rendimiento de las juntas en la zona situada entre el marco y la hoja.

Los estudios han mostrado que las ventanas que pueden abrirse ofrecen un mejor aislamiento acústico. Este fenómeno se produce porque las juntas funcionan como soporte de atenuación para las hojas de la ventana. De esta manera, una ventana de una sola hoja con bisagras a un lado con un acristalamiento definido por 4/16/4 proporciona un aislamiento acústico 2-3 dB mejor que una ventana fija con los mismos cristales. Parece ser que cuanto más flexibles sean las juntas mejor será el aislamiento acústico (figura 12).

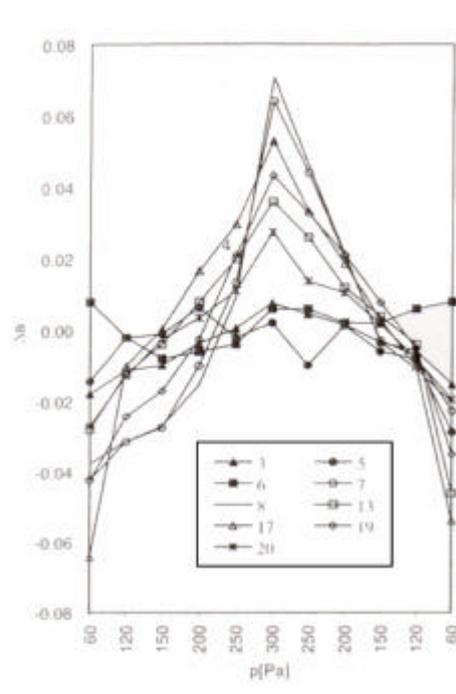


Figura 12: Promedios del coeficiente de permeabilidad del aire normalizados a 0 para ventanas de sistemas analizados n° 3, 5, 7...

5 Conclusión

El aislamiento acústico de una ventana para evitar la propagación del sonido a través del aire se puede definir por la cifra única obtenida con la fórmula $R_w + C$. $R_w + C$ es el aislamiento de la fuente de sonido en la que predominan los tonos bajos y medios. El objetivo principal del aislamiento acústico es la reducción del ruido.

El aislamiento acústico de las ventanas depende del tipo y tamaño de la ventana, del aislamiento acústico del acristalamiento y del marco. Podemos mejorar el aislamiento acústico del acristalamiento mediante el aumento del grosor de los cristales, con el empleo de gases especiales o con el laminado del vidrio. El marco tiene un efecto positivo en el aislamiento acústico hasta 38 dB. A partir de 45 dB, el aislamiento acústico depende del mismo concepto de ventana. La insuficiente hermeticidad al aire puede reducir en gran medida el aislamiento acústico. Las ventanas que se pueden abrir ofrecen a menudo un mejor aislamiento acústico que las ventanas fijas debido al soporte de atenuación que proporcionan las juntas.

Referencias

- [1] EN ISO 717-1 Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation, diciembre de 1996
- [2] “Geluidsisolatie van vensters. Toepassing van de nieuwe norm EN ISO 717-1:1996. Deel 1: akoestische prestaties van glas”, Bart Ingelaere, WTCB-Tijdschrift, lente 1998
- [3] “Geluidsisolatie van vensters. Deel 2”, Bart Ingelaere, WTCB-Tijdschrift, zomer 1998
- [4] E DIN 4109, Bbl 1/A1:2001-01, Tabelle 40: Konstruktionstabelle für Einfachfenster mit Mehrscheiben-Isolierglas
- [5] “Influence of sealing on the acoustic performance of PVC windows”, J. Nurzynski, 2nd International Building Physics Conference, Leuven, 2003, A.A. Balkema Publ. ISBN 90 5809 565 7, p. 595-603