

ANÁLISIS DEL CONTROL DEL RUIDO EN LOS EDIFICIOS COMUNITARIOS

C. Hoppe⁽¹⁾, J. Perojo⁽¹⁾, D. Silió⁽²⁾, I. Lombillo⁽¹⁾, L. Villegas⁽¹⁾, GTED-UC⁽³⁾

⁽¹⁾Departamento de Ingeniería Estructural y Mecánica, Universidad de Cantabria,
Avda. Los Castros s/n, Santander, 39005 España.
Teléfono: 942201743, Fax: 942201747, e-mail: carlos.hoppe@unican.es, jaime.perojo@unican.es,
ignacio.lombillo@unican.es, luis.villegas@unican.es,

⁽²⁾Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria,
Avda. Los Castros s/n, Santander, 39005 España.
Teléfono: 942200933, Fax: 942201385, e-mail: delfin.silio@unican.es

⁽³⁾Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria
Avda. Los Castros s/n, Santander, 39005 España.
Teléfono: 942201743, Fax: 942201747, e-mail: gted@unican.es, Web: <http://grupos.unican.es/gted/>

Resumen

Los procesos del control del ruido en los edificios comunitarios suelen dar como resultado el manejo de gran cantidad de datos que son difíciles de manipular, asimilar o comparar. Por ello, la presente comunicación, trata de analizar acústicamente algunos de los elementos constructivos más empleado en la construcción, para la reducción del ruido, así como, los sistemáticamente olvidados, como son la ubicación del edificio, las instalaciones de fontanería, sistemas pequeños de ventilación, etc.

Palabras clave: Control de ruido, acústica, edificios comunitarios.

1 Introducción

Los edificios están expuestos a ruido procedente de muchas fuentes, unas procedentes del ambiente exterior, como son el transporte de automóviles, motos, camiones, aviones, etc. y otros del ambiente interior, como son los derivados de los ascensores, sistemas de ventilación, desagües, equipos de música y audiovisuales, etc. El ruido procedente del exterior depende fundamentalmente de la ubicación del edificio y esta varía notablemente en magnitud y carácter entre las distintas ubicaciones, desde las áreas suburbanas silenciosas, que bordean zonas rurales a las calles del centro de las ciudades expuestas a tráfico intenso o las próximas a aeropuertos o estaciones de ferrocarril. Una

característica significativa de estas fuentes de ruido es su variación con la hora del día, siendo relativamente silencioso por la noche, cuando las actividades alcanza un mínimo y más ruidosas durante la mañana y la tarde, que son los periodos de mayor actividad.

La transmisión del sonido en la edificación se manifiesta fundamentalmente por las vías aérea y estructural. Para su control se utilizan los elementos que intervienen en las particiones como son paredes, suelos, ventanas y puertas para el ruido aéreo y los elementos antivibrantes para el ruido estructural, debiéndose destacar el sonido de impacto como un caso particular del sonido transmitido por las estructuras que se genera mediante golpes, habitualmente por caída o arrastre de objetos.

A Continuación, analizaremos las principales fuentes de ruido de los edificios y algunos de los elementos más comúnmente empleados para su control.

2 Análisis

2.1 Ventanas

El aislamiento acústico de las ventanas se rige por los mismos principios físicos que afectan a las paredes. Los valores de aislamiento están influidos por las propiedades del cristal y las características de los montajes de las ventanas.

Las ventanas con un solo cristal siguen razonablemente la ley de masas para las frecuencias medias, por lo que al aumentar el espesor aumenta el aislamiento (6dB cada vez que duplicamos el espesor), pero a frecuencias altas, la frecuencia crítica de coincidencia, limita las prestaciones acústicas. Para un cristal de 4 mm de espesor ($v_c=5000$ m/s) la frecuencia crítica aparece a los 3200 Hz aproximadamente, lo que provoca una pérdida de aislamiento importante a dicha frecuencia, para un cristal de 8 mm de espesor resulta a los 1600 Hz y cristales más gruesos la tienen más baja. Este desplazamiento de la frecuencia crítica hacia las frecuencias medias limita el aumento de espesor. Si se requiere un aislamiento global superior a los 35 dB un solo cristal no es una alternativa práctica.

Un cristal laminado de dos o más capas de cristal unidas mediante finas láminas de plástico puede proporcionar un aislamiento más alto que el cristal sólido para frecuencias próximas a la crítica. La mejora es debida fundamentalmente al amortiguamiento del plástico entre las capas por disipación de la energía vibratoria. Con estos cristales se pueden conseguir aislamientos globales superiores a los 40 dB.

Las ventanas con doble cristal aumentan el aislamiento a frecuencias altas, pero la mejora global depende de la separación de los cristales, en general, cuanto mayor es el espacio entre los dos cristales, mayor es el aislamiento.

El sistema funciona como un elemento mecánico simple, masa-muelle-masa, en el que el aire atrapado en el espacio entre los dos cristales actúa como muelle, transfiriendo energía vibratoria de un cristal al otro. Esta interacción entre los dos cristales produce una pérdida de aislamiento.

Esta pérdida de aislante aparece en la frecuencia de resonancia del sistema, masa-aire-masa, debido a que la misma depende fundamentalmente de la masa de los cristales y del espacio de aire entre ellos. Cuanto mayor es el espacio o más pesados son los cristales, menor es la frecuencia a la que se produce la resonancia.

La frecuencia de resonancia puede determinarse por la expresión:

$$f_0 = 60 \cdot \sqrt{\frac{1}{d} \cdot \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (1)$$

En la que:

- f_0 = frecuencia de resonancia del sistema en Hz.

- m_1, m_2 = masas superficiales de los cristales, en kg/m^2 .
- d = separación de los cristales en m.

En un cristal doble típico, sellado en fábrica, como el indicado en la NBE de 6+6 mm de espesor y masa superficial de cada una de las hojas de 15 Kg/m^2 , con separaciones que varían entre 5 y 15 mm la frecuencia de resonancia de 179 y 310 Hz que caen dentro del rango de frecuencias de interés. Cerca de la frecuencia de resonancia, el aislamiento acústico es inferior al de una capa única del mismo cristal, ya que la cámara de aire solo aporta un aumento de aislamiento a frecuencias por encima de la de resonancia. Si aumentamos la cámara de aire y/o utilizamos cristales más pesados, la frecuencia de resonancia puede desplazarse fuera del rango de las frecuencias de interés, consiguiendo un aislamiento acústico mucho más alto.

Se puede tener la idea general de que cada vez que duplicamos el espesor de la cámara de aire, el aislamiento global aumenta aproximadamente 3 dB. Duplicar el espesor del cristal tiene un efecto parecido a duplicar el espesor de aire.

Otro factor que interviene en el aislamiento acústico de las ventanas son los marcos, la transmisión de energía sonora a través de los mismos puede reducir significativamente el aislamiento acústico, sobre todo en ventanas con un índice de aislamiento alto. Las ventanas con marco metálico ligero tienen índices de aislamiento global más bajos. En general debe evitarse el uso de marcos ligeros. Si se precisan aislamientos altos, el uso de marcos separados, apoyados en paredes estructuralmente independientes elimina la transmisión a través de los marcos.

2.2 Puertas

La NBE no establece especificaciones mínimas de aislamiento acústico para las puertas, pero si proporciona unas ecuaciones empíricas en función de la masa superficial para predecir el aislamiento global de las mismas, en ausencia de valores obtenidos mediante ensayo. Sin embargo, su simple utilización puede motivar la obtención de resultados muy distintos a las paredes, puesto que, el aislamiento acústico de una puerta no solo depende del material, sino también del tipo, el arco y en especial de las juntas alrededor del perímetro.

Las puertas las podemos clasificar por su utilización en puertas para interiores y puertas para exteriores. Las primeras se caracterizan por ser más simples que las de exteriores y por la diversidad de formas como son las de una o más hojas, las plegables, las correderas etc., y las segundas se caracterizan por tener mayor masa superficial y mejor ajuste perimetral.

Las puertas de exteriores de una o dos paneles suelen tener un bajo índice de aislamiento global, en general no superan los 20 dB, ello es debido al deficiente ajuste de las puertas con los marcos, normalmente aparecen holguras de 4 a 5 mm por los lados de la misma. Por ello, a menos que se reduzcan las fugas de aislamiento alrededor de la puerta, no se puede conseguir una mejora del índice de aislamiento, sea cual sea la mejora que se realice en los paneles de las puertas.

Soluciones como aumentar el peso de la puerta, utilizando maderas de núcleo sólido de alta densidad, no aumenta sustancialmente el índice de aislamiento acústico, debido a los escapes de sonido a través de las aberturas alrededor de la puerta. El sellado de estas aberturas por medio de juntas de espuma o neopreno comprimido entre una puerta y el marco son muy eficaces, pero pueden aumentar el esfuerzo necesario para cerrar la puerta. Los cierres magnéticos, como los empleados en las puertas de los frigoríficos, funcionan bien con puertas metálicas. Se puede decir que una junta está lo suficientemente ajustada cuando se requiere un gran esfuerzo para insertar una tarjeta de crédito entre la junta y la puerta.

La mejora del aislamiento en las puertas acristaladas puede conseguirse aumentando su masa superficial. En puertas ligeras de madera de núcleo hueco, si se retiran las caras y se colocan placas de escayola o metal en el reverso de las mismas y se rellena la cavidad con material absorbente puede obtenerse un índice de aislamiento comparable al de una puerta de madera de núcleo macizo. Sin

olvidar el ajuste perimetral de la puerta, pues de lo contrario, como ya hemos dicho, no se consiguen aislamientos superiores a las 20 dB.

Las puertas simples especialmente diseñadas para aislamiento acústico pueden lograr valores de índice de aislamiento global superiores a los 35 dB si el sellado del perímetro es adecuado.

Las puertas de madera de panel sólido no son muy adecuadas para conseguir buenos índices de aislamiento, ello es debido a que la frecuencia de coincidencia o crítica, aparece en las frecuencias de interés, esta se puede obtener por la siguiente expresión:

$$f_c = 0.55 \cdot \frac{c^2}{e \cdot c_p} \quad (2)$$

En la que:

- f_c = frecuencia crítica en Hz.
- c = velocidad del sonido en el aire, en m/s.
- c_p = velocidad del sonido en el panel, en m/s.
- e = espesor del panel en m.

Si consideramos una puerta corriente de panel sólida de madera de pino con un espesor de 35 mm cuya velocidad del sonido en la misma es de 4180 m/s, la frecuencia crítica aparece aproximadamente a los 435 Hz, que cae en las frecuencias de interés y motiva para ellas y sus próximas una pérdida de aislamiento importante. Para desplegar dicha frecuencia por debajo o por encima de las de interés solamente se puede conseguir modificando el espesor de la puerta. Para desplazarla por debajo se requieren espesores superiores a 150 mm que es una solución poco práctica por el excesivo aumento del volumen y peso, por el contrario, si la queremos desplazar por encima, hay que disminuir el espesor por debajo de los 3 mm lo que origina una pérdida de aislamiento muy importante. Por ello podemos decir que este tipo de puertas solo se deben utilizar cuando se requieran pequeños índices de aislamiento.

Las puertas plegables se comportan esencialmente de la misma manera que las puertas normales, salvo que las juntas entre los segmentos puedan actuar como una vía extra de escape. Una puerta corredera es esencialmente una puerta plegable que subdivide un espacio. Es difícil sellar este tipo de puertas porque los suelos y los techos rara vez son planos y paralelos y las consideraciones más importantes en su diseño se basan en su rendimiento mecánico y durabilidad. Las puertas correderas más eficaces son las que se instalan entre dos tabiques y llevan el rail de deslizamiento en la parte superior y el carril guía en la parte inferior, ambos empotrados, en las que el único problema que pueden tener es la acumulación de suciedad en el carril guía inferior que hace difícil el funcionamiento de la puerta.

La construcción y aislamiento acústico de las puertas exteriores algo distintas de las puertas interiores típicas, en especial en la actualidad, pues se tienden a instalar puertas de seguridad que se distinguen por su mayor masa superficial y la inserción de placas de acero en su interior, consiguiéndose indirectamente de esta forma un aumento sustancial del índice de aislamiento. En los locales existentes en los edificios dedicados a ocio, como son los pub, bares, restaurantes, etc. una solución eficaz para evitar las fugas de aislamiento en las puertas exteriores es instalar una segunda puerta, separada una distancia suficiente, de tal forma que se consiga la abertura y cierre de una de ellas manteniendo cerrada la otra. Si se añade absorción acústica entre las puertas, en uno o en los dos lados de la puerta que dan al espacio intermedio, puede mejorar los valores de aislamiento acústico y hacerlas menos sensibles a las imperfecciones en los sellos del perímetro de las puertas.

2.3 Transmisión estructural

El ruido transmitido por las estructuras es aquel que se origina por la vibración de las mismas. Una estructura puede comenzar a vibrar debido a fuentes estables, como pueden ser, bombas, lavadoras, ventiladores, etc., o debido a fuentes de impactos, como son caídas de objetos, martillazos, saltos,

pisadas etc. Estas vibraciones pueden propagarse por la estructura, con poca atenuación, hacia diversos lugares donde ponen en vibración algunas superficies, siendo percibidas por el oyente como sonido transmitido por el aire o por objetos que se mueven. La excitación estable de una vibración transmitida por una estructura se debe en general al funcionamiento de aparatos mecánicos. La fuerza osciladora puede ser de carácter periódico como la producida por el desequilibrio de máquinas rotatoria, o puede ser de carácter aleatorio, debido al flujo turbulento en las cañerías. Esta fuerza excitadora se transmite a la estructura en los puntos en los que la máquina está rígidamente conectada con ella. Para evitar la transmisión de dichas fuerzas se deben instalarlas máquinas sobre soportes elásticos, por medio de muelles elementos antivibratorios que permitan a la maquina responder libremente a las fuerzas que actúan sobre ella. De esta forma, la fuerza transmitida a la estructura a través de los aisladores de vibración es entonces proporcional a esta respuesta de libre desplazamiento de la fuente multiplicada por la rigidez o elasticidad del montaje.

La excitación de una estructura por medio de un impacto es el resultado de una fuerza de corta duración que es suficientemente grande como para hacer que la estructura vibre, como puede ser la caída de un objeto pesado al suelo. Tanto la fuerza de impacto como el ruido de impacto aumentan linealmente con el producto de la masa y la velocidad del objeto que cae. Cuando el objeto entra en contacto con el suelo, su velocidad se reduce repentinamente a cero. Si el suelo es muy duro, el descenso de la velocidad es rápido y el objeto que cae genera un pulso de fuerza de mucha amplitud y muy poca duración. Sin embargo, si el suelo tiene una capa de superficie elástica, el descenso de la velocidad es menos rápido y se genera un pulso de fuerza con poca amplitud, pero de gran duración. En general el impacto de un objeto sobre un suelo duro produce un espectro sonoro en el que predominan las frecuencias altas, en tanto que el impacto sobre un suelo con una superficie elástica produce un sonido en el que predominan las frecuencias bajas. Soluciones como instalar en los suelos alfombras o moquetas para aislar los impactos de baja intensidad o la colocación de suelos flotantes para los impactos de mayor intensidad, consiguen resultados de aislamiento estructural importantes.

Para controlar el ruido transmitido a través de las estructuras se puede realizar actuando sobre la fuente, a lo largo de la vía de transmisión y cerca del receptor.

Generalmente, la actuación sobre la fuente es la solución más eficaz. Para ello, en primer lugar debemos identificar las potenciales fuentes de ruido que pueden transmitir sonido a través de la estructura, para situarlas, si es posible, lejos de las áreas en las que se requieren niveles bajos de ruido. En segundo lugar, cuando la vibración se produce por fuerzas oscilatorias o intermitentes derivadas de las máquinas, la reducción de ruido de la vibración en la fuente suele requerir la modificación o reducción de esas fuerzas o la reducción de los movimientos de los componentes del equipamiento sobre los que estas fuerzas actúan directamente.

Las fuerzas que resultan del desequilibrio de los componentes rotativos o alternativos pueden reducirse equilibrándolos o reemplazándolos por otros más equilibrados, por ejemplo cambiar un ventilador por otro de bajas revoluciones o mantener bien lubricados los elementos de fricción para evitar el ruido producido por las fuerzas de rozamiento, son soluciones con las que en general se obtienen buenos resultados.

El control de la vibración en la fuente puede lograrse mediante la reducción de las fuerzas vibratorias que transmite la máquina a la estructura a la que está conectada. La inserción de elementos flexibles entre la máquina y su apoyo es en general el mejor enfoque práctico, para conseguir unos buenos resultados en el aislamiento de la vibración.

Los movimientos de vibración que produce una fuente en una estructura a la que está unida pueden reducirse aumentando la resistencia al movimiento de la estructura soporte. Esto puede conseguirse aumentando la rigidez de la estructura, la masa o el amortiguamiento, dependiendo de que parámetro controle el movimiento de la estructura a las frecuencias de interés.

Los aumentos de rigidez son más beneficiosos para frecuencias por debajo de la frecuencia de resonancia fundamental de la estructura y los aumentos de masa para las frecuencias altas. Cuando se aplique alguna solución de este tipo se debe tener presente que los cambios de masa o rigidez también

producen el cambio de la frecuencia de resonancia de la estructura. Mediante una adecuada elección, las frecuencias de resonancia de la estructura pueden sintonizarse para alejarlas de las frecuencias de excitación, reduciéndose así las vibraciones de la estructura, pero una elección inadecuada puede provocar el efecto contrario.

A menudo la propagación de las vibraciones se puede conseguir interrumpiendo la vía de transmisión. Un ejemplo típico es la unión de los conductos de ventilación con el ventilador, que debe realizarse mediante uniones elásticas u otros elementos flexibles que son mucho más blandos que las tuberías a las que están conectados, con objeto de evitar que las vibraciones de un ventilador se pueden transmitir por las tuberías.

Una solución utilizada muy frecuentemente para aislar los ruidos de impactos es el empleo de suelos flotantes, entendiéndose como tales, aquellos que se apoyan sobre el suelo estructural, pero que están completamente aislados de éste mediante elementos de apoyo elásticos, de manera que en ningún punto están en contacto rígido con el suelo. Su utilización más frecuente en los recintos con equipamientos mecánicos, en salas de baile y en general en cualquier suelo que pueda ser objeto de soportar una fuente de excitación directa.

La construcción más típica de un suelo flotante es una losa de hormigón, de espesor suficiente para soportar la carga aplicada, que se apoya elásticamente sobre muelles metálicos, tacos de resinas comprimidas, mantos elásticos de neopreno o fibra de vidrio etc.. Hay que hacer un seguimiento cuidadoso de la instalación de cualquier tipo de suelo flotante, con el fin de que se realice adecuadamente. Así, cuando se utilice una capa continua de aislamiento semirígido de fibra de vidrio para apoyar el suelo flotante de forma elástica, se debe tener presente que la fibra de vidrio está sometida a deterioro por la humedad, por lo que se deben utilizar láminas de plástico, para sellar todas las juntas, como barreras contra la humedad y el vapor.

La rigidez y la amortiguación son las propiedades básicas de un aislador que determinan su utilización en un sistema diseñado para aportar aislamiento a una vibración o un impacto. Para su elección, es necesario asegurarse de que hay suficiente capacidad de deflexión en el aislador como para acomodar los movimientos máximos esperados del conjunto dinámico y que la capacidad de carga del aislador no es superada.

Para evitar daños potenciales al suelo flotante, las cargas que se apliquen sobre él deben estar dentro de los límites marcados en el diseño, procurando que su aplicación sea lo más uniforme posible. La sobrecarga excesiva sobre una determinada área puede producir una deflexión extra en el suelo en esta zona, que podría sobretensionar el suelo flotante, produciendo la fisura o fractura de la losa de hormigón y aportar una vía por la que el agua podría filtrarse al espacio entre el suelo flotante y el estructural.

En la construcción del suelo flotante se ha de mantener especial atención en que no aparezcan conexiones rígidas entre el suelo flotante y el estructural o la parte alrededor de la habitación, pues esto puede reducir radicalmente la mejora del aislamiento a ruido de impacto. Los bordes de la losa flotante se deben unir con las paredes perimetrales con elementos elásticos tales como juntas de caucho o neopreno. Se deben considerar también otros detalles tales como entradas de conductos o elementos de instalación, con el fin de evitar la conexión entre el suelo flotante y el estructural.

Se debe tener presente que una vez terminada la construcción, suele ser muy difícil una conexión entre el suelo y la estructura y resulta prácticamente imposible remediar la situación. Por lo tanto, hay que tener un cuidado extremo con los detalles durante la construcción para evitar las conexiones no deseadas.

La construcción de un suelo flotante que aporte un buen aislamiento al ruido de impacto no necesariamente asegura un nivel bajo de ruido en la habitación en que se origina. Por ejemplo, supongamos que queremos instalar un suelo flotante ligero de madera sobre un suelo estructural de hormigón, en estas circunstancias el ruido de impacto en la habitación emisora puede aumentar sustancialmente para las frecuencias bajas, a veces en más de 10 dB. Este aumento de nivel de ruido de impacto en la habitación emisora puede evitarse instalando una alfombra, sobre el suelo flotante.

Discontinuidades estructurales.

Una manera eficaz de controlar la propagación del ruido transmitido a través de la estructura es la utilización de discontinuidades estructurales. En grande edificios, suelen incorporarse juntas de expansión con el fin de permitir las expansiones y contracciones térmicas. Resulta conveniente utilizar estas juntas de expansión para controlar la propagación del ruido transmitido por la estructura, mediante la ubicación de áreas que estén sometidas a impactos significativos y áreas que contengan equipamientos vibratorios a un lado de la junta de expansión y la ubicación de áreas tranquilas al otro lado.

Para la separación de las unidades de viviendas contiguas mediante discontinuidades estructurales que aportan un aislamiento adecuado de ruido transmitido tanto aéreo como estructural, se debe prestar especial atención en que no aparezcan puentes acústicos debidos a paso de tuberías, caídas de cascotes en el interior, etc. que pueden hacer que la discontinuidad estructural no resulte efectiva, por ello al diseñar y construir, hay que tener mucho cuidado para prevenir estos puentes acústicos. Rellenar el hueco entre las paredes con un material elástico, como un tablero semirígido de fibra de vidrio o lana de roca, resulta útil para impedir la acumulación de residuos durante el levantamiento de la segunda pared.

2.4 Paredes compuestas

Una pared puede estar compuesta de dos o más elementos que contengan distintos índices de aislamiento, por ejemplo, una pared que contenga una puerta y una ventana. En este caso, el valor global del índice de aislamiento acústico de la pared compuesta puede determinarse a partir los índices de aislamiento de los componentes individuales mediante la siguiente expresión:

$$R_G = 10 \cdot \log \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{\frac{-R_i}{10}}} \quad (3)$$

En la que:

- R_G = índice de aislamiento global, en dB o dB(A)
- R_i = índice de aislamiento de los elementos, en dB o dB(A)
- S_i = Superficie de los elementos en mm².

Las ventanas y puertas no suelen tener índices de aislamiento altos, si lo comparamos con los índices que puede tener una pared, por ello, si se incluyen en la misma el aislamiento global del sistema se reducirá. Esto puede compensarse seleccionando áreas e índices de aislamiento de los componentes de manera que las pérdidas de aislamiento globales y los valores de los índices de aislamiento del sistema se ajusten a los criterios que se requieren en el diseño.

El aislamiento acústico es función de la frecuencia y por ello los cálculos deben llevarse a cabo para cada banda de frecuencia, para después determinar el índice de aislamiento global según lo especificado en la norma UNE-EN ISO 15071-1. Sin embargo, puede obtenerse una aproximación utilizando los índices de aislamiento globales.

- La expresión anterior también nos puede servir para valorar las pérdidas de aislamiento, debido a las fugas de aislamiento, entendiendo como tales como el paso del sonido a través de grietas o agujeros en la estructura del edificio. Las fugas de aislamiento más frecuentes en los edificios se deberá a:
 - Huecos no sellados alrededor de puertas y ventanas.
 - Aberturas alrededor de las tuberías en los lugares de entrada y de salida de las paredes.
 - Grietas en las paredes.
 - grietas alrededor de los bordes de puertas y ventanas.

- Tomas eléctricas colocadas reverso contra reverso etc.

Aunque el área que origina una fuga de aislamiento sea pequeña, el índice de aislamiento se considerará nulo para los cálculos.

Un razonamiento sencillo para combinar los componentes de una pared con varios elementos es obligar a que todos ellos tengan el mismo valor del índice de aislamiento. En la práctica esto no suele ser posible, en especial, cuando el índice de aislamiento que se requiere es alto y la pared incluye ventanas y puertas. Una pared con un índice de aislamiento es más fácil de construir que una ventana o una puerta con índices altos.

Veamos con un ejemplo lo expuesto. Supongamos una pared de ladrillo cerámico perforado de $\frac{1}{2}$ pie, que tiene un espesor de 14 cm., una masa superficial $M_p=250$ kg/m² y una superficie $S_p=6 \times 2,5=15$ m², en la que se va a instalar una puerta maciza de madera ligera laminada unida con bastidor, que tiene un espesor de 3,5 cm, una masa superficial $M_m=21$ Kg/m² con una superficie $S_m=0,8 \times 2,1=1,68$ m² y una ventana de carpintería clase A-2 y acristalamiento de una hoja de espesor 5mm., que tiene una masa superficial $M_v=13$ Kg/m² y una superficie $S_v=1,4 \times 1,5=2,1$ m².

Con estos elementos vamos a determinar el índice de aislamiento global de la pared compuesta en las siguientes situaciones:

Colocación de la puerta y ventana perfectamente instalados sin ningún tipo de desajuste en los contornos y cierres.

La misma situación anterior pero ahora con media ventana abierta.

Conjunto de pared con puerta y ventana cerradas y una abertura de ventilación de 0,14x0,14 m. sin colocación de rejillas.

PRIMERA SITUACIÓN

Cálculo de los índices de aislamiento acústico de los distintos componentes, según se establece en el anexo 3 de la NBE.

$$\text{Pared: } R_p = 36,5 \cdot \log 250 - 41,5 = 46 \text{dB}(A)$$

$$\text{Puerta: } R_m = 16,6 \cdot \log 21 - 8 = 14 \text{dB}(A)$$

$$\text{Ventana: } R_v = 13,3 \cdot \log 5 + 14,5 = 24 \text{dB}(A)$$

El aislamiento global de los tres elementos es:

$$R_G = \log \frac{15}{11,2 \cdot 10^{-4,6} + 2,1 \cdot 10^{-2,4} + 1,68 \cdot 10^{-1,4}} = 23 \text{dB}(A)$$

Como podemos observar se ha perdido el 50% del aislamiento respecto al elemento que más aísla que es la pared, lo que representa una mala elección de pared, puerta y ventana según situación:

SEGUNDA SITUACIÓN

En este caso los índices de aislamiento de los materiales siguen siendo los mismos, pero en esta situación hay que considerar como un elemento más el hueco de la media ventana que se ha abierto, que tiene una superficie $S_n=0,75 \times 1,4=1,05$ m² y un índice de aislamiento $R_n=0$, con lo que resulta un aislamiento global de:

$$R_G = 10 \cdot \log \frac{15}{11,2 \cdot 10^{-4,6} + 1,05 \cdot 10^{-2,4} + 1,05 + 1,68 \cdot 10^{-1,4}} = 11,3 \text{dB}(A)$$

La conclusión en este caso es que nos hemos quedado prácticamente sin aislamiento.

TERCERA SITUACIÓN

Las variantes en este caso son la superficie de la pared y la abertura.

$$S_a = 0,14 \times 0,14 = 0,0196 \text{ m}^2; S_p = 11,22 - 0,0196 = 11,2 \text{ m}^2$$

Con lo que resulta un aislamiento global de:

$$R_G = 10 \cdot \log \frac{15}{11,2 \cdot 10^{-4,6} + 2,1 \cdot 10^{-2,4} + 1,68 \cdot 10^{-1,4} + 0,0196} = 22 \text{ dB}(A)$$

Como vemos en este caso la pérdida de aislamiento con respecto a la primera situación estudiada es solamente 1 dB(A), pérdida que se puede minimizar colocando la rejilla de distribución de aire.

CUARTA SITUACIÓN

En este caso solamente tenemos dos elementos, que son la pared y el hueco que proporcionan un aislamiento global de:

$$R_G = 10 \cdot \log \frac{15}{14,981 \cdot 10^{-4,6} + 0,019} = 28,9 \text{ dB}(A)$$

Como vemos la pérdida de aislamiento con respecto a la pared es insuficiente. Para minimizar la pérdida se debe elegir un tipo de rejilla que no tenga la entrada directa de aire.

2.5 Fontanería

Cuando el agua fluye a través de las cañerías, a menudo genera niveles de ruido que causan situaciones desagradables y de molestia, sobre todo cuando se oyen bajantes o se origina ruido por la ducha de un vecino, de madrugada.

Las fuentes de ruido en un sistema de fontanería de un edificio se caracterizan por los mecanismos de generación de ruido, como son: turbulencias, cavitación, flujo de aguas residuales, salpicadura de agua y golpes de ariete, así como las instalaciones asociadas, lavadoras, lavavajillas, cisternas de retretes, duchas, lavabos, etc..

El flujo de los líquidos en las tuberías se clasifican, como flujo laminar o flujo turbulento. En el flujo laminar, el líquido fluye de manera que las partículas del líquido se mueven a lo largo de vías paralelas entre sí en la dirección general del movimiento. En el flujo turbulento, existe un movimiento irregular y aleatorio de las partículas en dirección transversal a las del flujo principal. Las variables que determinan el tipo de flujo se fijan mediante un número adimensional, denominado número de Reynolds. Para números de Reynolds superiores a 4000 el régimen es turbulento, circunstancia que ocurre en las instalaciones de fontanería que superan ampliamente dicho número.

En los tramos de tubería, si son rectos, el ruido resultante del flujo turbulento del fluido es relativamente insignificante. Sin embargo, cuando hay codos o piezas en "T" y la velocidad es alta, puede surgir ruido que cause problemas.

Aunque la mayoría de ruidos en los sistemas de fontanería están producidos por el flujo turbulento, en ocasiones, sobre todo en válvulas semicerradas aparece el fenómeno de la cavitación, que da como resultado un gran aumento de los niveles de ruido. La cavitación es la formación y posterior colapso de burbujas dentro del flujo y para que se produzca, tiene que existir una restricción local en el flujo de

agua que de cómo resultado velocidades altas y presiones bajas localizadas. A medida que estas burbujas se mueven a través de zonas de restricción la velocidad desciende y la presión aumenta, dando como resultado el colapso repentino de las burbujas, con fluctuaciones extremas de las presiones locales, que originan aumentos importantes de los niveles de ruido.

Las instalaciones tales como fregaderos, bañeras, duchas y retretes son fuentes de ruido que pueden generar molestias dentro del edificio. Los principales mecanismos de generación son en general la cavitación de los grifos, las salpicaduras del agua sobre el fondo de las bañeras o duchas y el flujo intermitente del agua residual a través del desagüe.

El ruido originado por los electrodomésticos tales como, lavadoras y lavavajillas, se los suele asociar a los sistemas de fontanería y representan una fuente potencial significativa de ruido. El mecanismo principal de generación de ruido de estos electrodomésticos son las vibraciones, que se pueden transmitir a la estructura especialmente si se colocan en contacto con el suelo.

Otra fuente importante de ruido en los edificios son las bombas de agua y está relacionada con los impulsos hidrodinámicos inherentes a toda ella. La frecuencia fundamental de ruido generado por la bomba se obtiene multiplicando el número de revoluciones por el número de aspas. Las frecuencias altas son el resultado de la cavitación que producen las aspas propulsoras. Otra fuente de ruido importante de las bombas está relacionada con los desequilibrios del motor o de la caja de transmisión que pueden transmitir vibraciones a la estructura.

El ruido intenso y agudo conocido como golpe de ariete se produce cuando un flujo estable en un sistema de distribución de líquidos es interrumpido súbitamente. Este fenómeno a veces se produce durante los ciclos de lavado y aclarado de las lavadoras y lavavajillas.

Control del ruido:

Todos los componentes de la fontanería deben estar aislados de la estructura del edificio.

Todas las tuberías que van por paredes, suelos y techos se deben anclar a los mismos, con elementos elásticos, con lo que se puede conseguir aislamiento de ruido que puede llegar a los 10 dB.

Siempre que las tuberías pasen a través de la estructura o entren en contacto con la pared, se debe envolver la zona de paso con material elástico como el neopreno, lana de roca o fibra de vidrio, de espesor entre 5 y 10 mm. Además es importante sellar el perímetro alrededor de todas las tuberías, grifos, espigas que penetren en las paredes, suelos y platos de ducha.

Cuando se utilizan tuberías de plástico en las bajantes de aguas residuales, dentro de un muro de separación, los espacios habitados adyacentes pueden experimentar un nivel de ruido inaceptable. Este ruido puede minimizarse o incluso eliminarse utilizando tuberías con gran masa superficial aisladas de la estructura del edificio.

Cuando se realiza el proyecto se debe minimizar el número de codos y uniones en "T", para reducir así la oportunidad de que se produzcan turbulencias y cavitación.

El ruido que se genera por el impacto del agua sobre el fondo de la bañera o ducha puede minimizarse aislando el conjunto de la estructura del suelo y la pared. De ahí que las duchas y bañeras deban instalarse sobre planchas elásticas. Análogamente los retretes se deben soportar sobre base elástica como el neopreno.

Las conexiones entre electrodomésticos, tales como lavavajillas, lavadoras, etc., deben realizarse mediante tuberías flexibles tanto para la toma de agua como para los desagües. Los impulsos de golpe de ariete asociados a estos electrodomésticos pueden amortiguarse parcialmente, si dichos conductos flexibles son lo suficientemente largos.

Una de las fuentes importantes de ruido en un edificio son las bombas de agua, el aislamiento acústico de las mismas, sus sistemas de anclaje, las tuberías de conexión y transporte y los servicios eléctricos asociados con ellas puede lograrse actuando de la forma siguiente:

Su ubicación debe realizarse lo más lejos posible de las zonas habitadas y el recinto en que se instalan se debe aislar para evitar la transmisión del ruido aéreo.

El apoyo de la bomba y motor se deben instalar sobre una losa de suficiente espesor y esta sobre elementos elásticos (pueden ser muelles metálicos) que descansan en el suelo, para evitar la transmisión de vibraciones a la estructura.

Las conexiones entre la bomba y el motor y las tuberías y conexiones eléctricas asociadas, deben ser flexibles.

Las sujeciones de las tuberías a las paredes, suelos y techos debe realizarse mediante elementos elásticos.

El paso de las tuberías a través de paredes o suelos se deben realizar mediante elementos elásticos, tales como neopreno, lana de roca o fibra de vidrio, para evitar el contacto directo de las tuberías con la estructura.

2.6 Ascensores

Los ascensores constituyen fuentes sonoras intermitentes que pueden funcionar tanto de día como de noche. Las principales fuentes de ruido son la sala de máquinas, las guías y carriles y la puerta de la cabina. También se pueden producir ruidos de impacto, producidos al pasar el ascensor por los sistemas de seguridad o por el cierre de las puertas.

Los sistemas de control del ruido son análogos a los utilizados para los sistemas de fontanería descritos anteriormente, en el que se utilizan aislamientos al ruido aéreo para la cabina y elementos elásticos y antivibratorios para todos los soportes de maquinaria y guías del ascensor.

2.7 Fuentes de ruido exteriores

Estos ruidos son generados principalmente por el tráfico rodado tanto en zonas urbanas como en interurbanas y ocasionalmente por el tráfico aéreo o ferroviario, al que hay que agregar los demás tipos de ruido generados por el uso de los espacios urbanos, como los generados por la propia comunidad, los de origen industrial, etc.

En lo que sigue incidiremos principalmente en el ruido del tráfico rodado, pero en cualquier caso lo que interesa es determinar el nivel sonoro en el exterior de las fachadas exteriores, para poder determinar el aislamiento acústico necesario.

El ruido de tráfico rodado es el resultado de la superposición de diversos ruidos provocados por el motor, transmisión, neumáticos, tipo de calzada, velocidad, etc., No solo por un vehículo sino por que suele ser la superposición del paso de diversos tipos de vehículos, repartidos sobre la calzada con posiciones, velocidades y aceleraciones diversas. Así el tratamiento del ruido de tráfico debe ser tratado estadísticamente.

Para su estudio se hace necesaria la definición de una serie de parámetros con objeto de evaluar los datos fundamentales que sirven para la determinación del ruido producido por el tráfico, como son:

Medida de vehículos que circulan por hora, como suma de las motos, coches, camiones ligeros y camiones pesados. Esta medida se debe hacer en horario diurno y nocturno

Velocidad media de circulación de los vehículos. Si no se dispone de datos se puede tomar la velocidad máxima permitida en la vía tanto para vehículos ligeros como para pesados.

Situación de la calzada respecto al punto de recepción, determinando las distancias, alturas y ángulo visual.

La pendiente de la vía y tipo de calzada.

La existencia a no de barreras.

Utilizando los datos de los parámetros descritos en los modelos de predicción podremos conocer los niveles de ruido en los puntos de la fachada que nos interese.

2.8 Ruido conversacional

El nivel de sonido emitido en conversaciones normales presenta variaciones apreciables, pudiéndose establecer como valor medio de 60 a 65 dB(A) medidos a la distancia de 1m y con oscilaciones que pueden ir de 45 a 55 dB(A) cuando se hacen en voz baja hasta 95 a 100 dB(A) cuando se grita.

El rango de frecuencias dominantes para la palabra va de 200 a 4000 Hz. Las vocales desarrollan sus niveles principalmente por debajo de los 1500 Hz y las consonantes por encima. El máximo de energía se presenta en las frecuencias medias de 400 a 800 Hz aunque la zona de frecuencias altas de 1000 a 4000 Hz donde desarrollan la energía las consonantes.

La percepción de las conversaciones de unos locales a otros depende del ruido ambiente, de tal forma que una misma conversación puede ser inaudible durante el día y ser totalmente comprensible durante la noche.

2.9 Ruido emitido por la radio, televisión y equipos de alta fidelidad

El nivel de ruido emitido por la radio y televisión y las fluctuaciones del nivel instantáneo dependen en gran medida del programa que se escuche. La escucha a volumen normal de este tipo de aparatos puede registrar una medida de nivel de presión acústica de 60 dB(A), medidos en el centro del recinto, mientras que a gran volumen el nivel medio puede ser del orden de 75 dB(A).

Las cadenas de alta fidelidad pueden alcanzar niveles de hasta 100 a 105 dB(A). El espectro de frecuencias que barre cualquiera de estos aparatos es muy amplio. En estos niveles de ruido también se encuentran los actuales equipos de reproducción de cine en casa, en especial con los reproductores de sonido de efectos especiales. Por ello, se debe tener presente al proyectar los aislamientos acústicos en las viviendas que en los recintos en los que se instalen estos equipos se debe disponer un aislamiento muy superior al resto del edificio de tal forma que se pueda disfrutar de dichos equipos, sin que produzcan molestias a su entorno.

2.10 Instrumentos musicales

Los instrumentos musicales generan unos niveles sonoros que varían entre márgenes muy amplios que pueden ir de 70 a 100 dB(A), así como el margen de frecuencias que emiten, dependiendo así mismo del tipo de instrumento musical.

Los instrumentos de música y cuerda o viento corrientes pueden generar sonidos con unos niveles de 90 a 100 dB(A) medidas a un metro de distancia, en una gama de frecuencias de 50 a 1500 Hz según el tipo de instrumento. Para el piano el nivel acústico puede llegar a los 70 dB(A) medido a la misma distancia.

3 Conclusiones

Las afecciones de ruido en los edificios son fuertemente dependientes de su lugar de enclavamiento y de las horas del día. Por ello es muy importante tener en cuenta estos aspectos en la fase de diseño. Por otro lado, debe de estudiarse cada elemento constructivo y contrastar si es apto para el uso que se le pretende dar.

Finalmente, ningún elemento trabaja bien en circunstancias diferentes a las de diseño por lo que los trabajos posteriores a la insonorización del edificio deben ser cuidadosamente estudiados, realizados y supervisados para su correcto funcionamiento.

Referencias

- [1] Beranek, L.L.: “Noise and Vibration Control”. Ed: Mc Graw Hill. Año 1971
- [2] Bruel & Kjár.: “Noise and Vibration”. Año 1982
- [3] Hoppe, C. Rioyo, J.: “Medida y Control de Ruido y Vibraciones”. Ed: Servicio de publicaciones de la Universidad de Cantabria. Año 1988.
- [4] Llenares, J. Llopis, A.: “Acústica Arquitectónica” Ed: Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Año 1987.
- [5] UNE-EN 1026:2000 Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Método de ensayo 1
- [6] UNE-EN 12207 (Ventanas y puertas - Permeabilidad al aire -Clasificación),
- [7] UNE 100153: 1988 IN. Climatización. Soportes antivibratorios. Criterios de selección.
- [8] UNE EN 200: 2005 Grifería sanitaria. Grifos simples y mezcladores (PN10). Especificaciones técnicas generales.