

# Vidrio hoy: una barrera contra el ruido

Federico Miyara

El uso del vidrio en la arquitectura es imprescindible cuando se requiere establecer una delimitación entre ambientes que garantice, a la vez, condiciones de visibilidad o iluminación. Cuando además del confort visual es preciso un considerable aislamiento acústico, el proyectista se enfrenta a un desafío de difícil, pero no imposible, solución. Antes de analizar las alternativas que la industria del vidrio pone a su alcance, es conveniente describir brevemente los mecanismos de transmisión del sonido a través del vidrio y otros materiales.

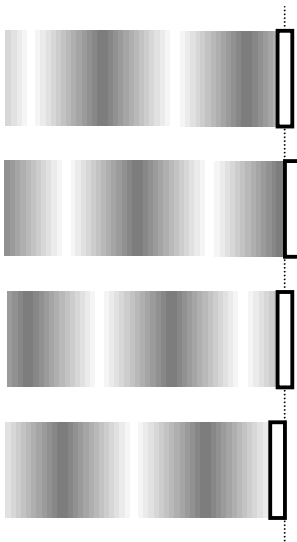


Figura 1

Recordemos que el sonido se propaga en el aire en forma de ondas alternativas de compresión y descompresión con respecto a la presión de equilibrio (es decir, la presión atmosférica). Cuando una onda de compresión incide sobre un tabique divisorio entre dos ambientes, dado que del otro lado la presión no ha sido alterada todavía por ninguna onda sonora, existe una fuerza neta que tiende a empujar el tabique en la misma dirección de la onda incidente. Si el tabique es muy liviano, dicha fuerza será capaz de imprimirle una aceleración importante hasta el momento en que la onda incidente pase a ser de descompresión. En ese caso, la fuerza neta se invierte, frenando el movimiento del tabique y luego acelerándolo en sentido inverso (figura 1). Como las ondas de compresión y de descompresión se van alternando, el tabique entrará en vibración, generando sonido del otro lado. Si el tabique es, en cambio, muy pesado, las débiles fuerzas causadas por el desequilibrio de presiones apenas lograrán imprimirle un débil movimiento. Las vibraciones resultantes serán muy pequeñas, generando del otro lado un sonido débil.

Es importante comprender que el tabique se comporta como receptor y *emisor secundario* de sonido, tanto más eficiente cuanto más liviano sea. Para un buen aislamiento, entonces, convendrá un tabique con gran masa superficial. Esta propiedad se conoce como *ley de la masa*, e indica que el aislamiento mejora aproximadamente 5 dB cada vez que se duplica la masa por unidad de superficie.

El aislamiento debido a la ley de la masa depende, además, de la *frecuencia*, es decir, de la cantidad de vibraciones sonoras por segundo. La frecuencia está relacionada con la sensación de altura que provoca el sonido. Así, los sonidos graves corresponden a las bajas frecuencias y los agudos a las altas frecuencias. También se observa que al duplicar la frecuencia el aislamiento mejora unos 5 dB. Esto es importante porque, como muestra la figura 2, el oído humano es más sensible a las frecuencias relativamente altas (1 a 4 kHz)

Al aumentar la frecuencia, no obstante, aparece un nuevo mecanismo de transmisión del sonido que impone una limitación a la validez de la ley de la masa: las *vibraciones de flexión* y

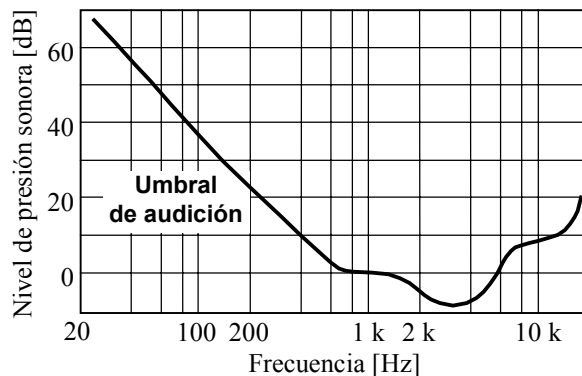


Figura 2

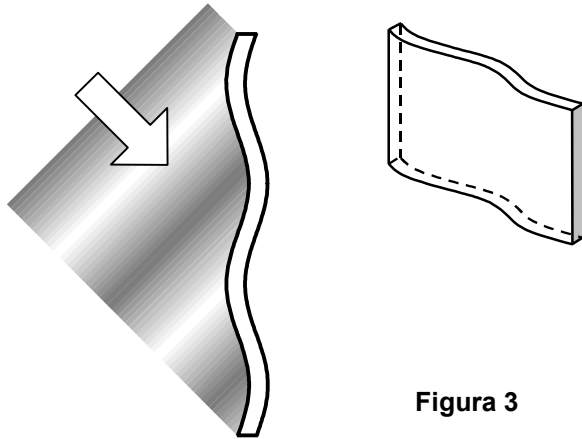


Figura 3

el fenómeno de *coincidencia*. Mientras que a baja frecuencia el tabique se mueve como un todo (figura 1), a alta frecuencia puede experimentar movimientos de flameo, como una tela tensa sacudida por uno de sus extremos o una bandera al viento. Cuando la onda sonora incide oblicuamente sobre el tabique, a partir de cierta frecuencia, denominada *frecuencia crítica*, se puede producir una *coincidencia* entre la onda sonora en el aire proyectada sobre la superficie y la onda de flexión (figura 3). Esto lleva a la pared a entrar en

resonancia, es decir, vibrar con gran amplitud, por lo que se convierte en un radiador sonoro muy eficiente hacia el otro lado del tabique. Como consecuencia, la atenuación sonora que proporciona el tabique, en lugar de seguir aumentando con la frecuencia, como predice idealmente la ley de la masa, disminuye, imponiendo un límite efectivo para el aislamiento que es dable obtener en alta frecuencia. En la figura 4 se muestra el índice de reducción acústica,  $R$ , en función de la frecuencia.

La frecuencia crítica es una propiedad de cada tabique y depende en forma más o menos compleja de su densidad, su espesor y su constante elástica. En el caso del vidrio la frecuencia crítica es aproximadamente igual a  $13000/e$ , donde  $e$  es el espesor en mm. Para los espesores normalmente utilizados en ventanas vemos que se encuentra precisamente en el rango de frecuencias en que el oído presenta su máxima sensibilidad, de allí la baja performance acústica de los vidrios monolíticos.

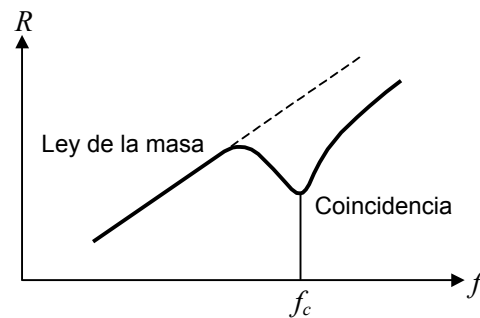


Figura 4

Existen dos alternativas, susceptibles de ser combinadas, para mejorar el aislamiento acústico de los vidriados. La primera es apelar al concepto de tabique doble con cámara de aire. Debido a que el aire se comporta como resorte, tiende a absorber parte de la fuerza resultante



Figura 5

del primer tabique a través de su deformación elástica, reduciendo así la fuerza aplicada al segundo. Esto da origen a la denominada *ley de la masa-resorte-masa*, por la cual, idealmente, se triplica el aumento de atenuación con la frecuencia. En la figura 5 se muestra la estructura más frecuentemente utilizada para implementar esta idea, conocida como panel doble vidriado hermético,

DVH. Para evitar la condensación interna se utiliza un bastidor hueco con deshumectante. Tiene la ventaja de que se fabrica industrialmente y la desventaja de que la separación entre ambos vidrios en general es reducida. Otra implementación frecuente es en las llamadas "peceras", que separan la cabina de control de la sala de locución en las radioemisoras. En ese caso se utilizan marcos dobles y la separación entre vidrios puede ser bastante mayor. Los vidriados dobles presentan, además, un elevado aislamiento térmico, por lo que son muy utilizados para ahorro energético en ambientes climatizados

Una característica de los tabiques dobles es la existencia de una frecuencia resonante  $f_0$  para la cual la atenuación se reduce considerablemente (figura 6). Para evitar desmejorar el aislamiento dicha frecuencia debe estar por debajo de la mínima frecuencia de interés, típicamente, 50 Hz.

La coincidencia no es ajena a este tipo de configuración, como se puede ver en la figura 6, aunque la atenuación lograda es siempre mayor que en los vidrios monolíticos. Una manera de reducir el efecto de la coincidencia es utilizar hojas de vidrio de diferente espesor, ya que de esa manera, cuando un componente resuena por coincidencia, queda el otro para brindar una atenuación residual aceptable.

Una alternativa cuando no se dispone de suficiente espacio para instalar un panel doble vidriado (o no se puede modificar la carpintería original) es utilizar *vidrio laminado*. Se trata de un vidrio de apariencia similar a la de un vidrio monolítico grueso formado por dos hojas de vidrio separadas

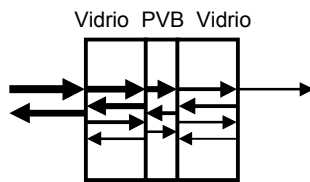


Figura 7

como se puede apreciar en la figura 9, mejorando sólo ligeramente la atenuación en el rango más sensible del oído con respecto a un vidrio monolítico.

Por último, recientemente se ha introducido una apreciable mejora en la performance acústica de los vidrios laminados, particularmente en lo concerniente al efecto de coincidencia. Para ello se ha sustituido la monocapa de PVB por una tricapa cuyas láminas externas son de PVB y la central de una resina de baja elasticidad (figura 8). Como la frecuencia crítica depende inversamente de la elasticidad, se consigue así trasladarla más allá del rango de mayor sensibilidad auditiva.

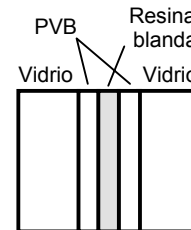


Figura 8

En la figura 9 se resumen las propiedades acústicas medidas en laboratorio de un ejemplo de cada una de las cuatro estructuras consideradas, siendo la cantidad de vidrio la misma en todos los casos. El primer caso (trazo verde) corresponde a un vidrio monolítico de 6 mm. Se aprecia una atenuación creciente hasta 1 kHz, afectada de ahí en más por la coincidencia a 2 kHz. El segundo caso (trazo azul) es un vidrio laminado con una monocapa de PVB. Se aprecia una leve mejora en el pozo de coincidencia. El tercer caso (trazo violeta), corresponde a un DVH de 3 mm + 6 mm + 3 mm. Si bien mejora apreciablemente en 2 kHz, presenta una fuerte resonancia en 400 Hz y un pozo de coincidencia en 4 kHz. Por último (trazo rojo), el laminado tricapa logra corregir notablemente el problema de la coincidencia, reducido a una leve meseta en torno a los 4 kHz.

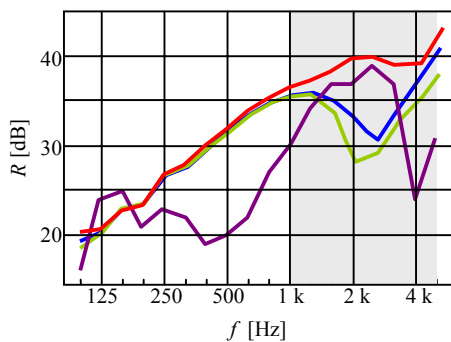


Figura 9

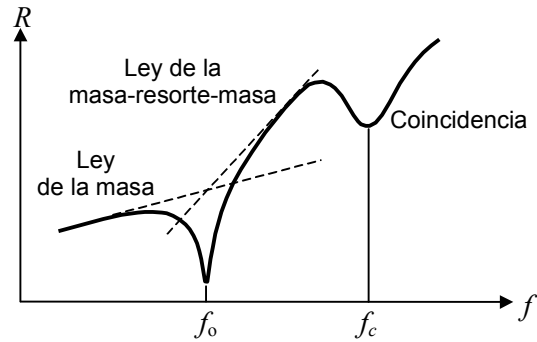


Figura 6

por una capa intermedia de *polivinil butiral* (PVB), un material plástico transparente que además de conferir al conjunto una gran resistencia, proporciona mayor aislamiento acústico que un vidrio simple de igual espesor total. El mecanismo se basa en que al haber una discontinuidad en las propiedades elásticas en el trayecto del sonido, éste es parcialmente reflejado en las diversas interfaces (figura 7). Parte del sonido queda encerrado entre caras paralelas, disipándose así su energía. El vidrio laminado tradicional no escapa al estigma de la coincidencia,

Vemos así, como hoy en día es posible dar soluciones novedosas y sencillas al problema de la visibilidad y el aislamiento acústico simultáneos.

## REFERENCIAS

- Miyara, Federico. "Control de Ruido". En Jornadas Internacionales Multidisciplinarias sobre Violencia Acústica. ASOLOFAL. Rosario, 2000.
- Yoshioka, Terry. "Functional Laminated Glazing of Passenger Vehicle by Advanced PVB Technology - Multi-Layer Technology for Noise Reduction and More". Sekisui Chemical Co. 2002.  
Internet: [http://i-front.sekisui.co.jp/s-lec/eng/html/hp\\_film/paper\\_saf.html](http://i-front.sekisui.co.jp/s-lec/eng/html/hp_film/paper_saf.html)