



Transmisión Sonora por Flancos: Valoración Mediante el Procedimiento de la Ranura

M^a. A. Martín^a, A.I. Tarrero^a, A. Aparicio, J. González and M. Machimbarrena

^a E.U.Politécnica, U. Valladolid, Francisco Mendizábal 1, 47014 Valladolid, España,
maruchi@sid.eup.uva.es ana@sid.eup.uva.es

RESUMEN: El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de las transmisiones laterales en el fenómeno de la transmisión sonora entre recintos. Para ello se han desarrollado tres experiencias realizadas sobre recintos reales. En estas experiencias, el método utilizado consiste en practicar una o dos ranuras en las paredes del recinto emisor y medir antes y después de realizar las ranuras. Las medidas hechas se refieren al aislamiento al ruido aéreo, al aislamiento al ruido de impacto (impactando en las paredes laterales del recinto emisor) y a la amplitud de la aceleración de las partículas de las superficies laterales del recinto receptor (la máquina de impactos se coloca en el suelo del recinto superior al de medida).

En estas experiencias, la ranura impide la transmisión de la vibración de las partículas de la pared, originada por la excitación sonora, y permite cuantificar las transmisiones indirectas que transcurren por los flancos donde está la ranura. También se ha comprobado que cuando la ranura se sella con silicona y se repiten las medidas, los resultados casi coinciden con los de la ranura hueca, lo que pone de manifiesto que es la distinta impedancia del material la que dificulta la transmisión por ese flanco.

ABSTRACT: The aim of this study is to get to know the effect of lateral transmissions throughout room sound transmissions. For this purpose, three essays have been carried out in-situ. The method used consists on drilling one or two slits on the transmitter room walls and measuring, before and after drilling. The obtained measurements refer to air-borne sound insulation, to impact sound insulation (shocking on the transmitter room lateral walls) and to the receiver room lateral walls particles acceleration amplitude (the impact machine placed on the room ground over the transmitter room).

On these essays, the slit prevents from transmission of wall particles vibration, originated by sound excitation, and enables quantifying the indirect transmissions passing by the flanks where the slit is. It has been also found that, as the slit is sealed with silicone and the measurements are repeated, the results are almost matching to the results for the void slit, which indicates that is just the flank material impedance what prevents sound from transmitting.

1. INTRODUCTION

Hasta hace poco tiempo, se consideraba que el sonido que alcanzaba el recinto receptor lo hacía a través del paramento separador de ambos recintos, lo que se denomina *pared separadora*. Sin embargo, aunque la mayor parte de la transmisión sonora ocurre a través de esta pared, existen otros caminos alternativos por donde el sonido puede alcanzar el recinto receptor. Por tanto la transmisión sonora puede ser de dos tipos: La *transmisión directa*, que ocurre a través de la pared separadora; y las transmisiones secundarias que se producen a

través del resto de los paramentos y uniones que son comunes en ambos recintos, llamadas *transmisiones indirectas o transmisiones por flancos*.

Hasta ahora, se han tratado de eliminar los caminos de transmisión sonora, a través del aislamiento de la superficie separadora (que es por donde discurre la mayor parte de la transmisión). Existen numerosos estudios que facilitan datos de mejoras y optimizaciones del aislamiento de este paramento entre dos recintos. Sin embargo, cuando se ha logrado un adecuado aislamiento de esta pared puede ocurrir que la transmisión principal se realice por los flancos.

Para poder actuar en acústica arquitectónica es fundamental conocer muy bien los caminos de transmisión sonora más importantes, discernir si son las transmisiones directas o las transmisiones por flancos las que contribuyen con mayor aporte energético al nivel de ruido existente en el recinto receptor, y sobre todo, tratar de cuantificar dicho aporte energético.

En la transmisión indirecta entre dos recintos existen principalmente *doce flancos*, a través de los cuales el sonido puede transmitirse de forma lateral de una sala emisora a otra receptora. Cada uno de estos caminos i es causante de un cierto nivel L_{2i} en el recinto receptor, cuando en el recinto emisor existe un nivel L_1 . En la figura 1 se observa como se lleva a cabo la transmisión por flancos entre dos recintos adyacentes. Cuando, el sonido se transmite de un recinto a otro contiguo a través de la pared separadora, a este flanco se le denomina **flanco de transmisión directa**, Dd , o simplemente transmisión directa; y al resto, **flancos laterales**, Df , Ff y Fd , y cada uno engloba cuatro caminos.

El **camino Dd** , o transmisión directa, permite la transmisión del sonido a través de la pared de separación entre dos recintos.

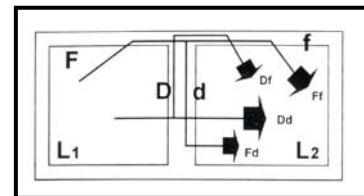


Figura 1- *Transmisión sonora entre dos recintos.*

El **camino Ff** es el que permite la transmisión del sonido entre el recinto emisor y el receptor a través de los elementos laterales que no son la pared de separación.

El tercer **camino, Fd** , es el que se establece por las paredes laterales del recinto emisor (uno para cada una de las cuatro paredes en contacto directo con el elemento separador), a través de la pared de separación.

El cuarto **camino, Df** , es el que comienza en el recinto emisor por el elemento separador, y llega al recinto receptor mediante cualquiera de las cuatro paredes adyacentes a este elemento.

El aislamiento total de un recinto siempre será menor o igual que el menor de los aislamientos de los paramentos que lo componen. Esto significa que aumentar el aislamiento de paredes que hayan sido aisladas adecuadamente, en detrimento de otras paredes, puede conducir a un gasto económico innecesario sin repercutir en beneficio acústico. De ahí la importancia de **cuantificar** la transmisión sonora a través del elemento separador de los recintos, y las transmisiones indirectas producidas a través de los flancos laterales.

2. RESULTADOS OBTENIDOS

Para lograr el objetivo propuesto se han hecho medidas en los recintos, emisor y receptor, antes y después de modificar alguna de las condiciones de alguno de los recintos. Todas las medidas se realizaron siguiendo las indicaciones dadas en la normativa [1] [3] [5]. A

continuación vamos a describir cada una de las experiencias realizadas para el estudio de la transmisión por flancos y analizaremos los resultados más significativos.

Los instrumentos de medida empleados para estas experiencias fueron: Fuente Sonora, máquina de impactos (no es una máquina normalizada, sino una modificación de una caladora. Se utilizó para impactar en las paredes laterales del recinto emisor y medir el nivel de presión sonora que se produce en el recinto receptor), y un analizador.

2.1 Experiencia primera

Se realizó en dos recintos contiguos y consistía en medir el aislamiento acústico inicial existente entre ellos al ruido aéreo y al ruido de impacto. Posteriormente se efectuó una ranura sobre la pared lateral izquierda del recinto emisor, y se repitieron las medidas de aislamiento anteriormente especificadas.

Mediante medidas de aislamiento a ruido aéreo sólo puede conocerse el aislamiento total de la sala, cuyo límite inferior lo marca el paramento de menor aislamiento. Sin embargo mediante medidas de ruido de impacto se puede estimar el aislamiento de cada uno de los cerramientos del recinto emisor.

Con el equipo de medida descrito anteriormente se midió el aislamiento inicial a ruido aéreo y a ruido de impactos. Tras construir la ranura (figura 2) se volvieron a repetir las medidas y comparando los resultados hemos determinado el incremento del aislamiento total debido a la ranura.

La figura 2 muestra una vista alzada de la disposición de los recintos. Sobre la pared lateral izquierda del recinto emisor se realizó la ranura. En la figura se dibujan dos flancos de transmisión a través de los cuales el sonido alcanza el recinto receptor.

Con esta experiencia se obtuvo una conclusión importante: que existía un flanco de debilitamiento en la transmisión sonora, ya que la onda sonora ha de cruzar la unión de la pared lateral derecha y la pared separadora para poder alcanzar el recinto receptor. Sin embargo, existen dos contribuciones importantes: el flanco que alcanza el recinto receptor a través de la superficie de separación, y el flanco lateral, que se va debilitando puesto que tiene que transmitirse a través de todo el paramento separador con su consiguiente pérdida de energía en la transmisión.

En la gráfica 1 se observa que la diferencia entre el aislamiento de las 6 paredes antes y después de la ranura no es muy acusada y en la mayor parte de los casos negativa, (donde SE es la superficie de separación, LD la pared lateral derecha, LI la pared lateral izquierda, SU el suelo, TE el techo y FO la pared del fondo). Esto se debe a que con la ranura se han disminuido contribuciones al nivel sonoro en el recinto receptor poco importantes, porque debido a la disposición geométrica de los recintos estas contribuciones eran muy débiles. Esta conclusión corrobora la importancia que tiene la contribución de las transmisiones laterales en el aislamiento sonoro. En este caso, un estudio previo del recinto habría indicado la ineficacia de atacar los flancos laterales izquierdos de ese recinto para mejorar el aislamiento.

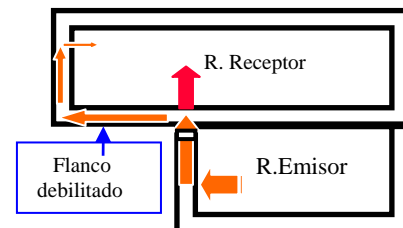
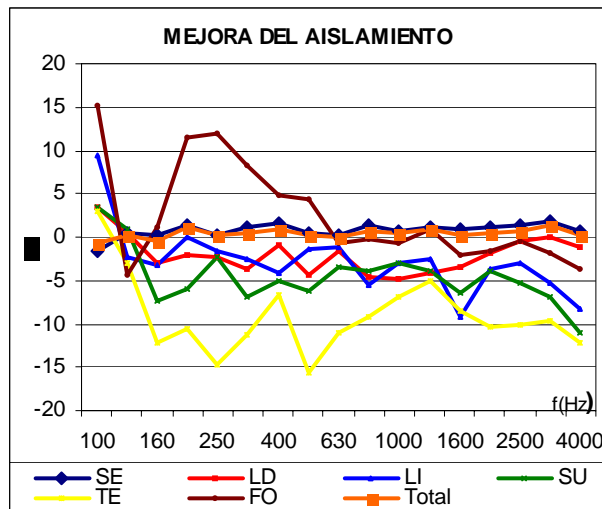


Figura 2 - Disposición de los recintos en los que se ha realizado la primera experiencia.

De este análisis surgieron modificaciones al método que se emplearían en la experiencia segunda. Todo ello sin olvidar el estudio de la ranura como elemento para impedir la



Gráfica 1- *Incremento logrado con la ranura*

ranuras se analizó cuál era la pared más adecuada para ello. De esta forma fue necesario conocer de antemano el aislamiento inicial de cada pared, lo cual nos condujo a la resolución de un sistema de ecuaciones. Este sistema se deduce de la ecuación 1, donde el aislamiento total (R_t) se calcula a través del aislamiento a través de cada uno de los 6 paramentos del recinto emisor (R_i).

$$R_t = -10 \log \sum_{i=1}^6 10^{\frac{-R_i}{10}} \text{ [dB]} \quad (1)$$

Una vez logrado esto, en la pared de menor aislamiento se efectuó la ranura, para mejorarlo. La diferencia de aislamiento antes y después de la ranura de cada una de las paredes laterales es la cuantificación de la transmisión sonora que se producía a través de ese flanco.

Antes de hacer modificaciones sobre los recintos, se midió el aislamiento a ruido aéreo y a ruido de impacto. Después, la primera ranura se realizó sobre la pared lateral derecha y su anchura varía, desde 0.5 cm. hasta 1cm. La profundidad de dicha rendija es igual al espesor del tabique donde se realizó. Esta ranura se construyó verticalmente, desde el techo hasta el suelo sobre la pared lateral derecha, a 20 cm. de la pared separadora.

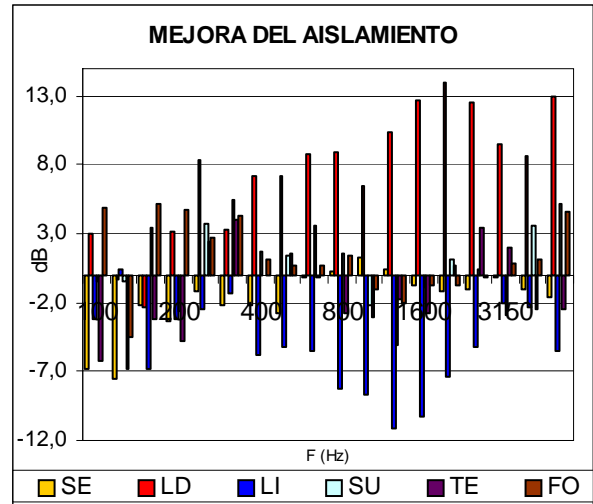
En la gráfica 2. se puede apreciar cómo aumenta el aislamiento de la pared lateral derecha (LD). Estos resultados son indicativos de que mediante la ranura se ha eliminado un importante flanco de transmisión sonora y podemos cuantificar la transmisión sonora que deja de producirse a través de los caminos que han desaparecido. Otro importante resultado obtenido es la reducción del aislamiento del paramento lateral izquierdo. Esta observación reafirma la importancia de las transmisiones laterales en el aislamiento, puesto que cuando algunos flancos de transmisión secundaria son eliminados, otros (que inicialmente eran poco importantes) cobran una mayor relevancia, encontrando el sonido a través de ellos un camino muy propicio para alcanzar el recinto receptor.

transmisión lateral a través de los flancos que inicialmente discurrían a través de la superficie donde fue construida, pero el análisis exhaustivo del efecto de la ranura fue desarrollado en la experiencia segunda.

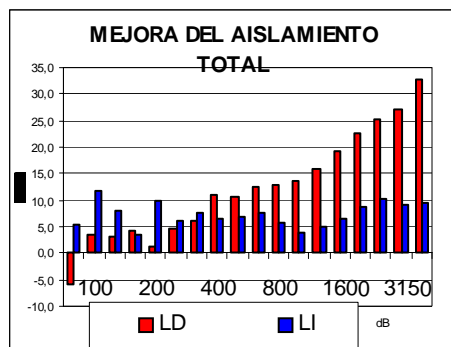
2.2 Experiencia segunda: En esta experiencia se efectuaron medidas de forma similar a como se hicieron en la primera, con la salvedad de que el estudio se enfocó de un modo diferente. En este caso las ranuras fueron dos, una en cada una de las superficies laterales del recinto emisor, próximas a la pared separadora. La principal diferencia se halla en que antes de construir cualquiera de las

Esta consecuencia indeseada es fundamental cuando se trata del aislamiento de la pared separadora de dos recintos, puesto que una vez logrado reducir el aislamiento de la misma, se pueden haber incrementado las transmisiones laterales entre los recintos. En el momento en que existan mayores transmisiones laterales entre dos recintos que transmisión directa, cualquier proceso que trate de disminuir la transmisión directa es inadecuado y superfluo.

A continuación una segunda ranura fue construida sobre la pared lateral izquierda y por problemas de construcción el grosor fue de 3,5 cm. En este caso, también el espesor de la ranura es igual al del tabique sobre el que se realiza, y la distancia desde la ranura a la pared separadora es de 30 cm.



Gráfica 2 - Incremento del aislamiento logrado con la ranura sobre la pared lateral derecha.

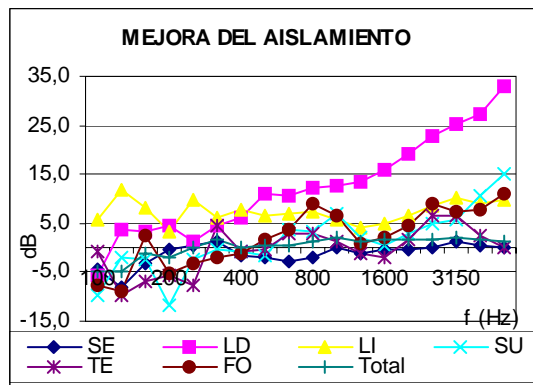


Gráfica 3 - Incremento del aislamiento de las paredes laterales del recinto emisor con dos ranuras

En la gráfica 3 se recogen los resultados finales tras efectuar las dos ranuras. Se observa que gran parte de la transmisión sonora que discurría a través de los flancos eliminados ha decrecido sustancialmente. Esto pone de manifiesto la importancia de las transmisiones laterales. Otra conclusión importante de estos resultados es que no se mejora apreciablemente el aislamiento total entre las salas con el simple hecho de efectuar las ranuras sino que es necesario el tratamiento previo de la pared separadora para aumentar su aislamiento. Sin embargo es fundamental conocer que existen otros tipos de transmisiones distintas a la transmisión directa, que pueden ir cobrando mayor importancia a medida que la transmisión directa va siendo debilitada.

Una última modificación que se lleva a cabo es el relleno de las ranuras con silicona. Aunque el objetivo principal de este trabajo es cuantificar las transmisiones indirectas, creemos que este método puede ser interesante para mejorar el aislamiento acústico entre dos recintos, una vez que se ha optimizado la reducción de la transmisión sonora a través de la pared separadora (transmisión directa). Puesto que no es viable dejar las ranuras abiertas se han rellenado de silicona, cuya finalidad es provocar una discontinuidad en las paredes con un material de distinta impedancia, procedimiento que puede ser considerado a la hora de construir un edificio.

El relleno de las ranuras se efectúa primeramente con un material, y posteriormente se sella con silicona “SIKA” empleada en la construcción, mediante una pistola apropiada para ello. Se volvieron a tomar medidas con la ranura llena de silicona y se observó principalmente que



Gráfica 4. Mejora del aislamiento logrado tras realizar las dos ranuras y sellarlas con silicona.

el aislamiento no empeoraba comparado con la ranura sin silicona, (se obtuvo una mejora del aislamiento total, pero mínima).

En la gráfica 4 se ha representado cuantitativamente cuánto ha mejorado el aislamiento de cada uno de los paramentos que componen el recinto emisor. En ella se observa que las líneas que representan el aislamiento de la pared lateral derecha y de la pared lateral izquierda han aumentado significativamente sus valores, lo cual pone de manifiesto que si se aislara la pared separadora de ambos recintos, lográndose unos valores de aislamiento superiores a los de estas dos paredes laterales, el aislamiento total aumentaría considerablemente,

y sobre todo a frecuencias altas. Como ya se ha comentado, siempre quedaría ligeramente por debajo de la pared que menor aislamiento posea, pero existirá un rango de valores para el aumento del aislamiento, mayor que el que teníamos al principio, puesto que los índices de reducción acústica iniciales de las dos paredes laterales eran mucho menores.

En la gráfica 4 se observa que el aislamiento acústico mejora significativamente y de forma creciente para la pared lateral derecha hasta lograrse valores de entre 25 y 30 dB para altas frecuencias. En la pared lateral izquierda el aislamiento mejora de forma más homogénea, con valores entre 5 y 15 dB.

También se aprecia que el efecto de la ranura influye de forma importante en el resto de las paredes. La justificación de este hecho se halla en la transmisión por flancos propiamente dicha, dado que cualquier flanco que discurriera a través de una pared lateral, se ve interrumpido por la ranura, y de este modo se reduce la transmisión correspondiente.

2.3 Experiencia tercera

En esta experiencia se analizará el origen del aumento del aislamiento que se consigue mediante la rendija. Cuando una máquina de impactos empieza a golpear sobre una superficie cualquiera de la sala emisora, ésta se pone en vibración, y su movimiento se transmite a las paredes contiguas.

Las partículas que componen la pared comienzan a vibrar con una determinada amplitud de aceleración. Esta vibración produce choques de las partículas en movimiento con las partículas contiguas, de tal forma que dicha vibración va transmitiéndose a lo largo de la estructura sólida. Cuando se realiza una ranura en una de las paredes la transmisión del movimiento de las partículas a través de la ranura es prácticamente inapreciable debido a la diferencia de impedancia entre los medios. Este efecto es lo que trataremos de comprobar en la experiencia tercera.

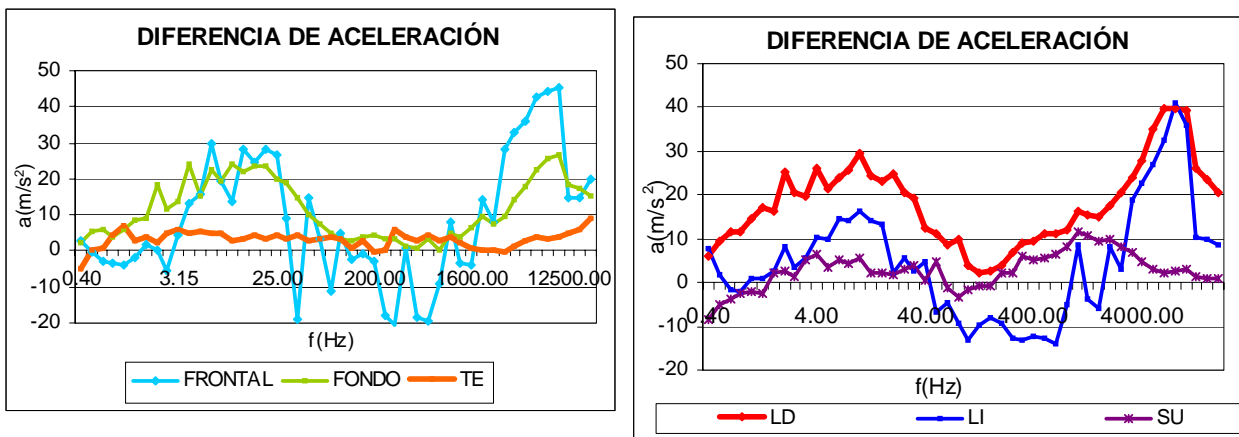
El desarrollo de esta experiencia es similar al de las otras experiencias, con la salvedad de que ahora no se mide el nivel de presión sonora mediante un sonómetro, sino que se mide la amplitud de la aceleración por medio de un acelerómetro unido a un analizador y la máquina de impactos utilizada es una máquina normalizada.

La experiencia se realiza en dos salas superpuestas de iguales dimensiones. Se coloca la máquina de impactos normalizada en la sala de arriba, golpeando en distintas posiciones del suelo. En la sala inferior, con el acelerómetro en varias posiciones de cada una de las paredes, para cada posición de la máquina de impactos, se mide la amplitud de la aceleración de las partículas de las superficies de las paredes sobre las que se apoya.

El procedimiento seguido es el siguiente: Una vez que se han efectuado y promediado las medidas de cada pared en las condiciones iniciales del recinto, se realiza la ranura horizontal en el recinto receptor, a unos 15 cm del techo para impedir la transmisión de la vibración. Después de haber hecho la ranura en la pared se repiten las medidas anteriores utilizando las mismas posiciones del acelerómetro y de la máquina de impactos.

En esta experiencia se denomina pared lateral derecha a la pared sobre la que se realiza la ranura; pared lateral izquierda a la que está frente a ésta; la pared del fondo será la que dá al exterior, y su opuesta, pared de frente. Dado que las salas están superpuestas, el suelo del recinto emisor será el techo del receptor.

Una vez realizadas las medidas de aceleración sin ranura y con ranura, y promediadas espacial y temporalmente de forma oportuna, se recogen los resultados de forma comparativa en la gráfica 5, los resultados de las medidas de aceleración demuestran claramente la importancia de la transmisión por flancos, y el efecto de la ranura en la amplitud de la aceleración.



Gráfica 5 - Diferencia de la amplitud de la aceleración en los paramentos del recinto receptor antes y después de construir la ranura

Como primera y más evidente conclusión que se extrae, está la influencia de la ranura sobre la transmisión acústica a través de la pared donde se realiza, lo cual implica que la discontinuidad en esa superficie, dificulta la transmisión de la vibración a través de ella. Pero, no sólo afecta a la transmisión a través de la pared sobre la que está construida la ranura, sino que también, aunque en menor medida, tiene efecto cuando se mide sobre las superficies



contiguas a ésta. Esta es la verdadera justificación de la transmisión por flancos, dado que si al realizar una ranura en una pared lateral, -cuando se impacta en una sala superior -, el suelo del recinto receptor recibe las vibraciones con una amplitud menor que antes de haberla construido, eso significa que a través de esa superficie la vibración de las partículas se transmitía.

CONCLUSIONES

De los resultados de las tres experiencias expuestas y de su análisis se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. La primera, que toma una especial relevancia en este estudio, es la importancia que tiene el hecho de averiguar cuál es la superficie del recinto emisor que menor aislamiento posee, puesto que se ha comprobado que el aislamiento total de una sala emisora es siempre menor o igual que el más pequeño de los aislamientos de cualquier superficie que limite dicho recinto.
2. Mediante la construcción de ranuras es posible comprobar y cuantificar la transmisión sonora por flancos entre dos recintos contiguos.
3. La discontinuidad en la pared originada por la ranura, prácticamente impide la transmisión de la vibración sonora, y por tanto reduce el número de flancos que contribuyen a la transmisión total.
4. En general, la superficie del recinto emisor que más contribuye a la transmisión sonora es la pared separadora de los dos recintos. Para lograr con este método una mejora significativa del aislamiento total, es necesario tratar previamente la pared separadora mediante materiales aislantes u otros procedimientos.
5. Cuando la ranura se rellena con silicona, los resultados de las medidas prácticamente coincidían con los de la ranura hueca, lo que pone de manifiesto que es la discontinuidad del material (la distinta impedancia) la que dificulta la transmisión por ese flanco.
6. Las medidas de las aceleraciones en las superficies de los dos recintos, antes y después de efectuar la ranura, han puesto de manifiesto que la vibración se extingue cuando se transmite por un flanco que discurre a través de la ranura manifestándose por una reducción muy significativa de la amplitud de la aceleración.

RECONOCIMIENTOS: A la empresa IBERACÚSTICA por su colaboración

REFERENCIAS

- [1] ISO/DIS 10848-1:2001; ISO/DIS 10848-2:2001; ISO/DIS 10848-3:2001. *Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact noise between adjoining rooms.*
- [2] ISO 140/III-1978; ISO 140/IV-1978; ISO 140/VI-1978. *Acoustics- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements.*
- [3] EN 12354-1:2000; EN 12354-2:2000; EN 12354-3:2000. Comité Técnico CEN/TC 126. *Propiedades acústicas de los edificios y sus elementos de construcción.*
- [4] Norma básica de la edificación. NBE-CA-88. *Condiciones acústicas en los edificios.*
- [5] Cód. Téc. de Edificación. *Protección contra el ruido y Acondicionamiento acústico, 2002.*
- [6] E. Gerretsen. *Calculation of airborne and impact sound insulation between dwellings.* 1985.