

TRANSMISIÓN DE RUIDO Y VIBRACIONES VÍA ESTRUCTURA DEL EDIFICIO: POSIBLES SOLUCIONES

Alfonso Corz^{1*}

Juan Negreira²

Andrés L. Peña³

¹Presidente AECOR / Chairman Calpe Institute of Technology

²Secretario AECOR / Technical & Marketing Manager Saint-Gobain Ecophon Iberia

³Calpe Institute of Technology

RESUMEN

Uno de los mayores problemas a la hora de realizar el cambio de la antigua CA-88 al actual CTE-DB HR, fue la diferencia tan abultada de la limitación de la transmisión por impacto. Una vez dado ese paso, hoy tenemos que ver que aún estamos lejos de los valores de los países de nuestro entorno. Aun siendo el ensayo de impacto una norma importante con una metodología muy probada, surge la pregunta de qué sucede con otra serie de fenómenos vibratorios que aparecen en las edificaciones y que producen molestias a los habitantes de dichos inmuebles. Se pretende dar aquí una visión más amplia de estos fenómenos y su posible solución.

ABSTRACT

One of the most common issues when moving from the abrogated CA-88 to the current CTE-DB HR, was the highly increased limitation for impact noises transmission. Once this path was taken, it is still clear our results are far from what other surrounding countries have achieved. Even considering the impact noise test method importance and its widely proven methodology, a question arises about what happens with another series of vibrating phenomena that are present at buildings causing annoyances to their inhabitants. We intend to show a wider vision about these phenomena and feasible solutions.

Palabras Clave— ruido de impactos, transmisión estructural, soluciones constructivas.

1. INTRODUCCIÓN

La propagación de ondas entre el emisor de estas y el receptor necesita de un medio deformable entre ambos. El medio de

transmisión puede ser un sólido, un fluido o una combinación de ambos, y el foco puede ser un generador de ondas acústicas o bien un generador de vibraciones. Cuando la combinación es fuente acústica→fluido→receptor, el problema es bien conocido y, si bien tiene sus problemas, es el caso más definido por la normativa y simple conceptualmente.

En la transmisión por vía aérea entre dos recintos, el sonido viaja a través del aire, llega a un paramento sólido, pierde una cierta cantidad de energía, refleja otra parte al interior, y la onda se transmite a través del paramento sólido al interior del espacio donde está el receptor. Para atenuarlo, se puede actuar sobre el foco o aumentar el aislamiento del paramento, esto es, en la parte sólida del camino de propagación.

En el caso de los focos vibratorios, sin embargo, no se produce necesariamente un ruido aéreo de forma directa. La vibración se transmite al medio elástico, como puede ser la estructura de un edificio, a través de puntos de contacto, provocando que vibre la estructura en sí. Esta vibración viaja por la estructura con una atenuación relativamente más baja que en el caso de la transmisión aérea, produciendo que los paramentos verticales y horizontales se comporten como membranas que, al vibrar, producen un ruido aéreo que llega al receptor.

El grado de complejidad de este fenómeno es grande mientras las ondas viajan por la parte sólida, adentrándonos en el mundo de la propagación de ondas sísmicas con ondas tipo P y S. El enfoque que se le ha dado al problema es simplificarlo, como en el caso de la máquina de impacto normalizada (norma UNE-EN ISO 16283-2). De forma experimental se mide y comparan los niveles de ruido que llegan al receptor teniendo un emisor de vibraciones normalizado, aunque el medio sólido (estructura) por donde se propagan las ondas no sea conocido.

Las soluciones para resolver problemas de ruido trans-

* **Autor de contacto:** juan.negreira@saint-gobain.com

Copyright: ©2023 Juan Negreira et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

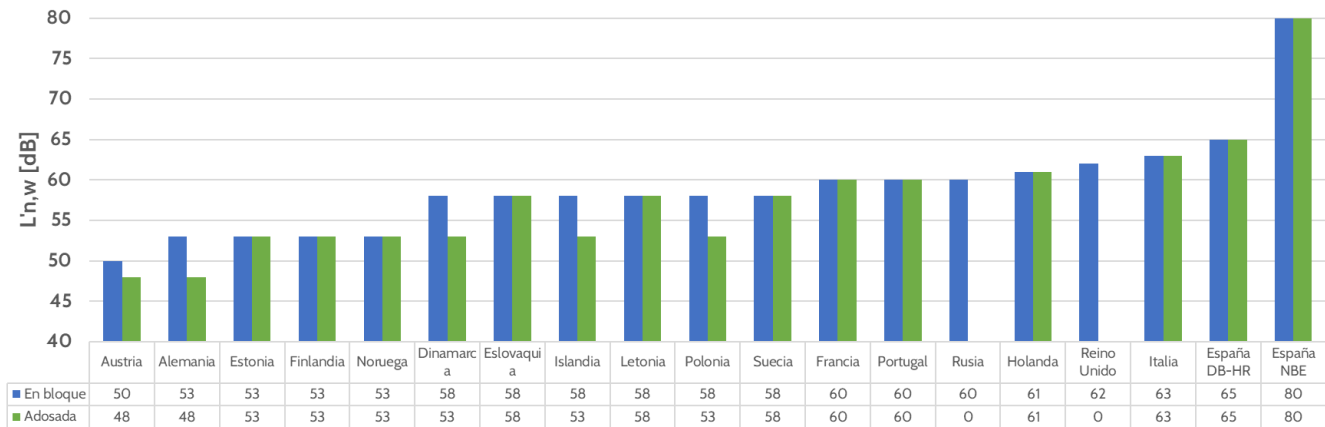


Figura 1. Requisitos generales de nivel máximo de ruido de impactos entre recintos de diferentes usuarios, edificios de más de 1 planta, estimación de niveles equivalentes en $L'_{n,w}$ en 2008. Elaboración propia AECOR.

mitido por vía estructural son más efectivas cuando se centran en el foco, esto es, evitando que se produzca la transmisión a la estructura del edificio. Las soluciones tradicionales pasan por desolidarizar el foco vibratorio de la estructura del edificio, puesto que una vez que se produce la transmisión, mitigar la afección es una tarea por lo general sumamente complicada.

La transmisión de ruido de impactos sigue siendo una tarea pendiente en las edificaciones residenciales en España, pese a la mejora en requisitos que supuso el DB-HR [1], que sigue siendo baja en comparación con otros países europeos (en la figura 1 se muestra que con el requisito del DB-HR, España seguía a la cola de Europa en cuanto a exigencia en nivel de ruido de impactos). Además, sigue existiendo cierto desconocimiento de este fenómeno tan complejo por parte de los agentes implicados, siendo habitual que se adopten soluciones erróneas o poco eficaces para mitigar este tipo de molestias (como aumentar el aislamiento acústico de paramentos, lo que no tiene efecto alguno sobre la transmisión estructural).

La principal novedad a efectos prácticos del DB-HR en cuanto a transmisión de ruido de impactos es la necesidad implícita de emplear suelos flotantes, en los que se desolidariza la solería de la estructura mediante el empleo de láminas anti impactos. Lo anterior supone una importante evolución sobre las soluciones constructivas que se han venido empleando en España tradicionalmente [2].

Aunque se han producido notables mejoras en el diseño de equipos e instalaciones desde la aprobación del DB-HR tendentes a reducir el impacto acústico y vibratorio de las mismas, el aumento de la complejidad en diseños e instalaciones ha causado la aparición de nuevos retos a solventar. Ejemplos de lo anterior pueden ser la instalación de piscinas y depósitos en plantas superiores o cubiertas en edificios de gran altura, ascensores que operan a altas velocidades, o el paso bajo o próximo a los cimientos de trenes subterráneos.

Resolver problemas de transmisión estructural una vez que se manifiestan puede ser una tarea compleja, costosa e ineficiente. Por tanto, el diseño de soluciones específicas e innovadoras a estos retos es crucial para garantizar la habitabilidad y confort en edificios residenciales una vez que estén construidos.

A continuación, se presentan algunos casos de este tipo de problemas de transmisión de ruido por vía estructural, así como soluciones innovadoras, diferentes al planteamiento tradicional.

2. GIMNASIOS

Es cada vez más habitual que en edificios residenciales se incluyan estancias de servicios comunitarios, siendo frecuentes los espacios destinados al ejercicio físico.

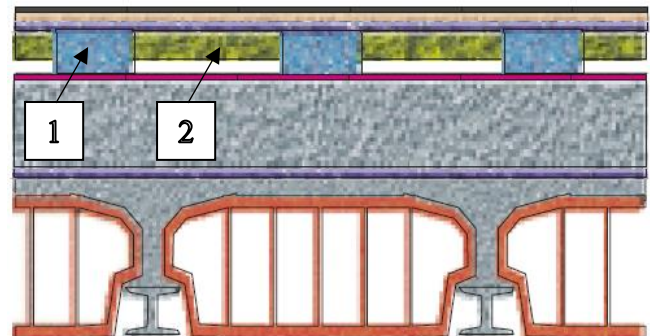


Figura 2. Detalle de una solución constructiva basada en cojines de acero trenzado (1) rodeados de lana mineral (2) bajo la solería, montado sobre el forjado existente, para un gimnasio.

En edificios residenciales, los suelos flotantes se diseñan para el uso previsto, y por tanto los usos no esperados pueden producir transmisión de ruido estructural. Cuando se instala un gimnasio en un edificio residencial empleando suelos flotantes tradicionales, se producen impactos que generan niveles muy superiores a los que estos suelos son ca-

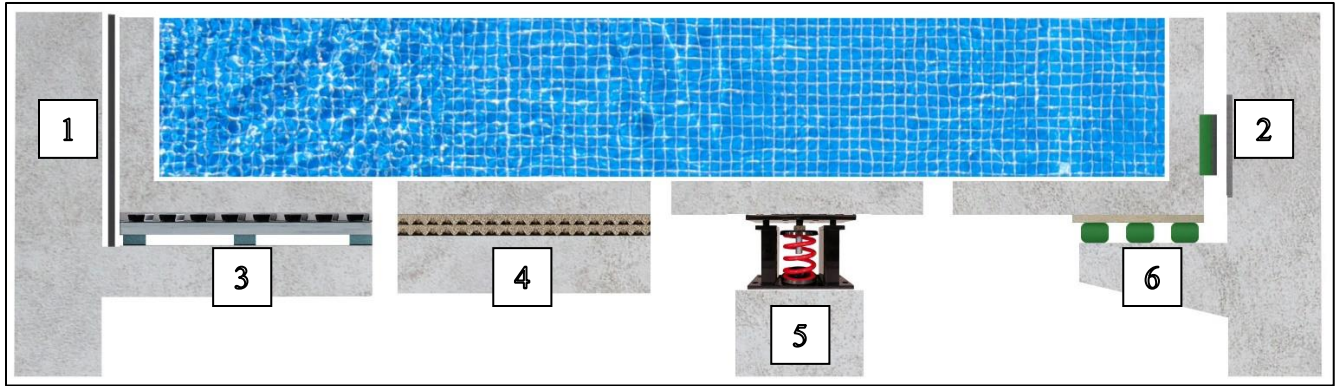


Figura 3. Diferentes soluciones para desolidarizar vasos de piscinas: 1) Bandas elastoméricas continuas, 2) núcleos elastoméricos discretos, 3) losas con apoyos elastoméricos/amortiguadores discretos, 4) paneles elastoméricos continuos, 5) amortiguadores precomprimidos para altas cargas, y 6) apoyos elastoméricos discretos para altas cargas.

paces de atenuar, requiriendo soluciones específicas.

El problema se debe a que las soluciones basadas en láminas elásticas anti-impactos tienen un rango de operación concreto, pasado el cual pasan a comportarse como un sólido con elasticidad no lineal limitada. La parte inicial de la energía del impacto es absorbida por el elemento anti vibratorio, pero el resto es transferido a la estructura.

Tanto las máquinas de ejercicio como las pesas y mancuernas al caer requieren que el suelo flotante cuente con elementos anti vibratorios adaptados a dichas cargas. Para ello, se suelen emplear sistemas basados en muelles distribuidos en malla bajo la losa que soporta la solería, cuidando que no haya contacto rígido en rodapiés, además de contar con acabados elásticos sobre la solería para reducir la generación de ruido aéreo.

3. DEPÓSITOS Y PISCINAS EN PLANTAS ALTAS DE EDIFICIOS RESIDENCIALES

Los depósitos de grandes o pequeñas dimensiones instalados en las cubiertas de los edificios no son una fuente de vibraciones per se, pero durante el proceso de vaciado y llenado pueden producirse eventos de transmisión estructural, como el denominado “golpe de ariete”: un repentino aumento de la presión en las tuberías que se produce por cambios rápidos en la velocidad del caudal. Este fenómeno, que en casos extremos puede producir roturas en las tuberías, uniones y bombas, es bien conocido y puede ser resuelto mediante soluciones estándares.

El caso de las piscinas en plantas altas presenta una mayor complejidad. Se puede considerar que una piscina es un depósito abierto, estando por tanto sujeto a los mismos riesgos de transmisión de ruido estructural que cualquier otro depósito, pero además presenta otras casuísticas de interés. Por una parte, se trata de masas de gran importancia, que tienen un papel importante en caso de sismos, y que por tanto requieren estudios muy detallados. Sin embargo, se suele obviar que el uso de la piscina por parte de personas produce

eventos de impacto que se transmiten a la estructura del edificio.

Desolidarizar un grupo de presión, como el sistema de bombas que da servicio a la piscina, es una tarea bien conocida: empleando uniones flexibles en las tuberías, e instalando los equipos en una bancada con apoyos elásticos. Sin embargo, desolidarizar la totalidad de la piscina de la estructura requiere de sistemas antivibratorios muy complejos, debido a las cargas que deben soportar.

Esto implica que el vaso de la piscina no tenga contactos rígidos con la estructura, y esté sobre una bancada con apoyos elásticos, de forma similar a lo que se ha expuesto para los gimnasios, pero a una escala mayor. Existen múltiples soluciones específicas para este tipo de problemas [3].

Alcanzado un cierto umbral de carga, las soluciones basadas en láminas anti-impactos no son viables, puesto que sometidas a carga excesiva pasan a comportarse como un sólido semi-rígido. En su lugar, se emplean amortiguadores diseñados de forma específica para la carga que han de soportar, y se distribuyen bajo la bancada formando una malla que ayuda a distribuir los esfuerzos. Estos amortiguadores pueden ser bloques de elastómeros, muelles, o una combinación de ambos, y deben instalarse bajo el vaso y también en los laterales.

4. ASCENSORES

Los ascensores están formados por múltiples e importantes focos de vibraciones que se pueden transmitir por vía estructural: el grupo tractor, las guías de la cabina, las puertas automatizadas, los cables, el sistema de frenado, e incluso el propio sistema de control.

En ascensores antiguos, el grupo tractor suele ser la principal fuente de vibraciones que produce transmisión estructural hacia viviendas colindantes [4]. Una bancada inadecuada o unos apoyos rígidos en exceso producirán la transmisión estructural que se pretende evitar. La circulación de la cabina durante la operación del ascensor produce

vibraciones en las guías, que deben instalarse mediante sujeciones elásticas. Los cables, en especial en ascensores de alta velocidad [5], son otra fuente de vibraciones adicional, que puede transmitirse a la propia cabina y al grupo tractor, excediendo la capacidad de atenuación para la que se han diseñado los apoyos elásticos de estos componentes.

Los sistemas de control basados en relés ofrecen la ventaja de no requerir la existencia de una sala para el grupo tractor, pero su operación produce eventos vibratorios en el armario, que por lo general no se diseña para evitar la transmisión estructural.



Figura 4. Apoyos elásticos instalados a posteriori en el grupo tractor de un ascensor tradicional. Se aprecia en la esquina inferior derecha que el sistema paracaídas no dispone de apoyos, creando un punto de transmisión de vibraciones a la estructura.

Los fabricantes son conscientes de este problema, y han desarrollado nuevos equipos que reducen sensiblemente sus vibraciones, por lo que han ido solventando este tipo de problemas, de tal forma que la modernización termina siendo la solución más simple y efectiva. Los grupos de tracción sin engranajes (gearless) emplean motores síncronos dotados de imanes permanentes que, sobre todo, descartan el uso de reductor. Esto reduce los puntos de fricción, ofrecen un menor consumo energético, y logran unas emisiones acústicas y vibratorias notablemente inferiores a los tradicionales. En casos donde el grupo tractor es el principal foco de vibración, la sustitución por uno de estos equipos gearless es la opción más efectiva, en lugar de instalar nuevos apoyos elásticos. De la misma forma, la sustitución de relés antiguos por sistemas de control modernos es la manera más simple de solventar este otro problema. La reducción de vibraciones produce además un mayor confort en la cabina.

5. FERROCARRILES

Los efectos de la vibración de ferrocarriles están ampliamente estudiados, pero existe un fenómeno menos conocido fuera del ámbito ferroviario que es el de la corrugación o desgaste ondulatorio, uno de los principales costes del mantenimiento de la infraestructura, suponiendo entre un 25 y 30% de estos

costes, y al que son especialmente sensibles los ferrocarriles/tranvías/metros en entornos urbanos [6].

Este fenómeno consiste en la aparición de un desgaste en el carril con forma de onda, que una vez que surge aumenta de forma exponencial. Es más frecuente en curvas con radios bajos (que son más habituales en metros y tranvías [7] que en medias y largas distancias fuera de núcleos urbanos), y se debe a la interacción entre las frecuencias naturales del bogie y del raíl.



Figura 5. Desgaste ondulatorio en un raíl.

Las causas que lo generan son complejas y en ocasiones múltiples, existiendo gran variabilidad, y dependiendo en gran medida de las condiciones específicas en cada caso –tipo de vía, tipo de elementos, geometría de vía, características de las circulaciones, velocidades, cargas, etc. Sí es conocido que en el mecanismo cíclico que ocasiona este fenómeno el estado de cargas está dominado por efectos resonantes de la vía, de tal manera que el desgaste viene caracterizado por una longitud de onda característica, dejando una huella que se repite con un patrón regular.

El paso de trenes por un carril corrugado produce un mayor coste energético, vibraciones hacia el vagón y por el terreno circundante, así como un incremento en el nivel de ruido generado. Las soluciones tradicionales consisten en la reducción de la fricción del raíl mediante la aplicación periódica de lubricantes, y una vez que surge el desgaste, el amolado del raíl o incluso su sustitución en casos de desgaste extremo.

Es un fenómeno complejo, pero existen propuestas que minimizan el riesgo de aparición del desgaste mediante la modificación de la rigidez de sujeciones, apoyos y raíl y/o la distancia entre traviesas, de tal forma que se desacoplan los modos naturales del bogie y el raíl, reduciendo así el riesgo de que surja el desgaste, y por tanto que se produzca la transmisión de vibraciones al terreno, y de ahí a los edificios del entorno.

Esto permite que, bien en fase de diseño, bien durante las operaciones de sustitución de traviesas y raíl, la reconstrucción de la vía se realice de tal forma que se minimice el riesgo de aparición del fenómeno, actuando de esta forma sobre el foco con un planteamiento distinto al tradicional.

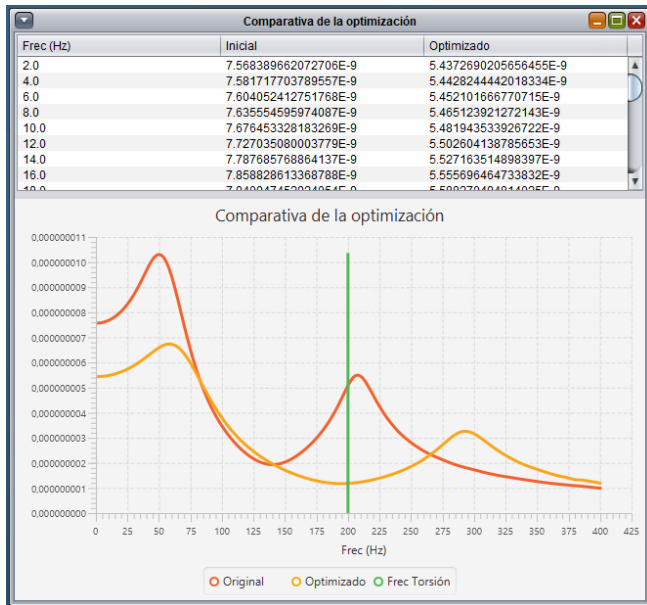


Figura 6. Optimización mediante algoritmo de la función de respuesta en frecuencia. La situación inicial (rojo) presentaba una coincidencia con la frecuencia de torsión del bogie (verde) a 200Hz. El algoritmo logra disminuir la amplitud de respuesta del raíl en la frecuencia de control (naranja), mediante la reducción de la distancia entre traviesas y de la densidad del hormigón de estas.

6. CONCLUSIONES

La transmisión por vía estructural es un problema tan complejo, que la única solución viable, a efectos prácticos, es evitar que se produzca la propia transmisión de la vibración desde el foco hasta la estructura.

Si bien los límites de nivel de ruido de impactos son más restrictivos tras la entrada en vigor del CTE, siguen siendo exigencias a la cola de Europa, y no se aplican a la mayor parte del parque de viviendas ya construidas con anterioridad.

La transmisión de ondas por vía estructural sigue siendo un fenómeno poco conocido para gran parte de los agentes implicados en la construcción, por lo que hoy en día es habitual que el diseño, la instalación o el mantenimiento de focos vibratorios de forma adecuada, no se realice de forma adecuada y que se apliquen soluciones ineficaces.

Conociendo la naturaleza del fenómeno, la solución no siempre es compleja: una bancada adecuada, unos soportes de elastómero, o unas sujeciones elásticas pueden ser

soluciones apropiadas. Sin embargo, cuando los focos vibratorios son complejos o de alto nivel de emisión, suele ser necesario abordar el problema con planteamientos no tradicionales, con diseños innovadores, y con soluciones basadas en enfoques originales.

7. REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Fomento, «DB HR - Protección frente al ruido», *Código técnico de la Edificación*, vol. 2013, 2019.
- [2] M. T. Carrascal García, A. Romero Fernández, y M. B. Casla Herguedas, «The evolution in the sound insulation of Spanish floors. Typical performance and their potential for improvement», en *INTER-NOISE 2019 MADRID - 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*, 2019.
- [3] T. Murray, L. Cosstick, E. Hong, y G. Hall, «Comparison of pool isolation systems», en *24th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2017*, 2017.
- [4] P. Xu *et al.*, «Experimental study on damping characteristics of elevator traction system», *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 14, n.º 3, 2022, doi: 10.1177/16878132221085434.
- [5] Q. Zhang, Y. H. Yang, T. Hou, y R. J. Zhang, «Dynamic analysis of high-speed traction elevator and traction car-rope time-varying system», *Noise and Vibration Worldwide*, vol. 50, n.º 2, 2019, doi: 10.1177/0957456519827929.
- [6] S. L. Grassie, «Rail corrugation: characteristics, causes, and treatments», *Proc Inst Mech Eng F J Rail Rapid Transit*, vol. 223, n.º 6, pp. 581-596, 2009, doi: 10.1243/09544097JRR264.
- [7] A. Bracciali, «Rail Corrugation Growth in a Metro Curve», *Methodology*, 2006.