

SUELOS FLOTANTES PARA GIMNASIOS Y FITNESS: LA NUEVA GENERACIÓN

Marina Rodrigues¹, Paulo Pinto², Iñigo Arana³

¹ CDM Group
{e-mail: marina.rodrigues@cdm.eu}

² CDM Group
{e-mail: paulo.pinto@cdm.eu}

³ CDM Group
{e-mail: inigo.arana@cdm.be}

Resumen

Los gimnasios y salas de fitness dentro de edificios residenciales y comerciales presentan importantes desafíos acústicos y de integración en su entorno. Las actividades deportivas generan un amplio rango de ruido y vibraciones, tanto en términos de energía inducida como de espectro de frecuencias.

Para actividades que generan una combinación de ruido estructural y aéreo, a frecuencias altas y bajas, los consultores acústicos pueden proponer losas flotantes de hormigón. Sin embargo, en edificios existentes en los que la altura y/o el peso del sistema supongan un impedimento, una solución aligerada puede imponerse.

Se ha completado una campaña de ensayos de suelos aligerados, sometidos a diferentes niveles de energía de caída de pesos. Se ha investigado el uso de apoyos discretos y mantas como soporte, así como la influencia de los acabados de gimnasio, capas de impacto y amortiguamiento.

Los resultados muestran que losas flotantes aligeradas pueden presentar rendimientos comparables e incluso mejores que losas flotantes de hormigón.

Para mejorar la eficacia de aislamiento y hacer los suelos menos dependientes a la energía de impacto, se ha desarrollado un nuevo concepto – dBooster® – que, introduciendo una tira resiliente sobre los soportes elastómeros, consigue flotación libre del suelo, maximizando el amortiguamiento.

Palabras clave: gimnasio, energía de impacto, bajas frecuencias, losa aligerada, amortiguación.

Abstract

Gym and fitness spaces on residential/commercial buildings, pose a challenge for integration into their environment and are a well-known conundrum to acousticians. Gym activities generate a large range of noise and vibration in terms of induced energy level and frequency content. For gym activities with a combination of structural and airborne noise, at both low and high frequencies, acousticians may propose a concrete floating floor. However, in an existing building where the extra weight and height of a wet system is not feasible, a lightweight solution may be necessary.

A set of testing has been performed where the isolation performance of lightweight floor setups have been examined under different drop weight energy levels. The influence of floor covering, impact layers, the addition of damping layers and the use of discrete bearings and mats as resilient support have been investigated.

Results show that lightweight floating floors can have the same or better performance than concrete floating floors.

To improve the isolation efficiency and making the gym floors less dependent on the impact level, a new concept has been developed - dBooster® - a free floating was achieved by introducing a decoupling resilient strip fixed to the resilient support system.

Keywords: fitness, impact energy, low frequencies, lightweight, damping

PACS no. 43.40.Nn, 43.50.Nn, 45.58.Nn

1 Introducción

Las actuales tendencias al alza en la urbanización y en la sensibilización relativa a la salud, junto a la demanda creciente de acceso rápido a todo tipo de servicios, han provocado la proliferación de gimnasios en los mejores locales comerciales de los centros de las ciudades. Al mismo tiempo, las crecientes exigencias de confort acústico dificultan la convivencia pacífica entre residentes y gimnasios dentro de un mismo edificio.

La actividad de un gimnasio genera altos niveles de ruido de impacto, así como de ruido aéreo, en especial a bajas frecuencias, en el rango no cubierto por normas existentes ni aparatos de ensayo. La elección del tipo de suelo adecuado es por tanto uno de los aspectos más importantes del diseño de unas instalaciones deportivas.

La mayor parte de los gimnasios urbanos se instalan en locales en edificios ya existentes. Es frecuente, por tanto, que el peso y/o la altura de un sistema de losa flotante de hormigón supongan un problema. Si añadimos el hecho de que tales locales son en su mayoría arrendados, la ventaja competitiva de un sistema fácilmente desmontable hace que los suelos aligerados sean la opción perfecta para garantizar la convivencia pacífica de gimnasios y residentes. Pero ¿cómo conciliar los cada vez más exigentes requerimientos de confort acústico con una solución aligerada que soporte altos niveles de energía de impacto a bajas frecuencias?

CDM lleva diseñando e instalando soluciones de aislamiento de suelos deportivos y gimnasios desde la década de 1970. Años de experiencia en el diseño e implementación de losas flotantes de hormigón de alto rendimiento para gimnasios, así como suelos flotantes aligerados en proyectos de renovación, junto a nuestra inversión continua en I+D, nos llevaron a lanzar una campaña extensiva de investigación, con el objetivo de profundizar nuestro conocimiento de los mecanismos y fenómenos dominantes del ruido estructural y poder desarrollar una nueva gama de soluciones aligeradas de alto rendimiento para uso deportivo.

2 Requerimientos acústicos

En ausencia de regulaciones relativas a gimnasios e instalaciones deportivas, el mercado está imponiendo valores límite L_{AFMAX} y L_{Aeq} en función de los usos de los espacios adyacentes. Los espectros L_{FMAX} se comparan con las curvas NR para confirmar que el contenido de bajas frecuencias no es excesivo.

El decreto francés n° 2006-1099 compara los niveles emergentes con el nivel de ruido ambiental, y define como aceptable un nivel de ruido 5dBA superior al ruido ambiente durante el día, y 3dBA superior durante la noche.

3 Procedimientos de ensayo

Durante la campaña de investigación y desarrollo, CDM completó ensayos en laboratorio, así como in situ. Se detallan a continuación ambos procedimientos.

3.1 Ensayos en laboratorio

El procedimiento de ensayo en laboratorio se desarrolló conjuntamente con el Riverbank Acoustical Laboratory (RAL) de Geneva (IL, EE.UU.), donde se realizó la campaña, siguiendo las recomendaciones recogidas en el artículo “Classification scheme of floor impact sounds with the standard rubber ball in dwellings” (Sato & Yoshimura, Inter-Noise, 2014) [1].

El modelo se construyó en una abertura horizontal entre dos salas de reverberación. En la cámara superior, se suspendió el peso a ensayar de un sistema de grúa con desenganche rápido, a la altura especificada, antes de soltarlo para el impacto. En la cámara inferior se midió el nivel máximo de presión sonora ponderado A con respuesta rápida (L_{AFmax}).

3.1.1 Energía de impacto

El nivel de energía de impacto E es la fuente esencial de molestias en espacios adyacentes. Se define generalmente como producto de la masa M , expresada en términos de fuerza ($[N]$) y la altura de caída H ($[m]$):

$$E = M * H . \quad (1)$$

Los niveles de energía típicos en gimnasios pueden alcanzar hasta 1000 N.m. Pesas rusas y mancuernas de hasta 25 kg caen desde alturas alrededor de 0.7m dando lugar a energías rondando los 200 N·m mientras que halteras con un peso de hasta 2 x 50 kg caen desde alturas del orden de 1 m, dando lugar a los 1000 N.m mencionados.

Se condujo el programa de ensayos considerando dos (2) pesas rusas de 24.95 kg (55 lbs) y 11.34 kg (25 lbs), dejándolas caer desde alturas de 0.2 m (8’), 0.9 m (36’), 1.5 m (60’) and 2.3 m (90’), resultando en energías de impacto entre 23 y 560 N.m.



Figura 1 – (izq.) Suspensión típica de las pesas a ensayar, encima del modelo de ensayo. (dcha) Pesas rusas de fundición utilizadas en los ensayos de caída libre de pesos en laboratorio.

3.2 Ensayos in-situ

El procedimiento de ensayo in situ es una adaptación del de laboratorio, con la diferencia de que in situ es posible considerar todas las variables, incluyendo una de las más influyentes: los espectros por bandas de 1/3 de octava dependen de las frecuencias propias de la losa estructural.

La elección del sistema de suelo que solucione un problema de intrusión de ruido estructural en una propiedad vecina se lleva a cabo de la forma siguiente:

- Se mide el nivel de ruido ambiente en la habitación receptora (encima, debajo o en propiedades adyacentes) antes del ensayo de impacto. Este nivel es indicativo del L_{eq} and L_{Fmax} medidos en la habitación receptora en ausencia actividad en el gimnasio.
- Se realiza el ensayo de caída de pesos:
 1. en las ubicaciones del gimnasio donde se prevea instalar el área de ejercicios de pesos libres o en varias ubicaciones por todo el local, en caso de que la futura distribución del gimnasio sea desconocida;
 2. con diferentes configuraciones de suelos, incluyendo la losa existente del gimnasio;
 3. dejando caer mancuernas de 25 a 30 kg desde alturas en el rango de 0.7 a 1 m, para todas las configuraciones y sistemas de suelos. Se realizan también repeticiones con mancuernas de 10 a 25kg y halteras de 60 a 120kg en pos de la completitud;
 4. midiendo en la habitación receptora, para cada ensayo, los espectros L_{Aeq} , L_{AFmax} y L_{Fmax} .



Figura 2 – Sistema de suelo flotante aligerado durante un ensayo in situ.

4 Resultados de las mediciones

La configuración típica de un suelo flotante consta de 4 capas, cada una con su propio efecto en la funcionalidad, el confort de uso y el aislamiento al ruido estructural: (1) Acabado del suelo, (2) Capa de Absorción de Impactos, 3) Capa de Distribución de Cargas, y (4) Soporte Resiliente.

4.1 Acabado del suelo y capa de absorción de impactos

En la fase inicial del programa de investigación de CDM, se ensayaron tres acabados de suelo con diferentes rigideces dinámicas: (1) acabado muy rígido (linóleo fino), (2) blando (manta de goma de alta

densidad de 10mm) y (3) muy blando (30mm bicapa compuesto por los 10mm de goma de alta densidad sobre una capa muy blanda de absorción). La selección se basó en los acabados más habituales de gimnasios y áreas de fitness: linóleo para clases grupales, suelo de goma fina para zonas de cardio y fuerza, y placas de goma más espesa para los pesos libres.

Los resultados mostraron claramente que los acabados de suelo son acústicamente efectivos a frecuencias superiores a 125Hz únicamente. Sin embargo, mostraron también que el rendimiento acústico mejora significativamente para acabados combinados con una capa de absorción de impacto, mostrando resultados ya a partir de 80-100 Hz.

Sabiendo que la combinación de un acabado de suelo convencional y una capa de absorción juega un rol importante dentro de los sistemas y que la rigidez de las capas de impacto está limitada por el confort de uso y las sobrecargas variables del gimnasio (soportes de mancuernas, almacenaje de pesas, equipamiento, etc.), CDM ha desarrollado una capa de impacto con alto amortiguamiento, baja restitución de energía y una deformación vertical mínima, para garantizar la compatibilidad con los acabados de suelo más comunes. Se garantiza así la libertad de elección de acabados y su función estética.

Las funciones principales del acabado bicapa (acabado sobre capa de absorción de impacto): (1) proteger la superficie del suelo de daños estructurales, (2) dispersar la energía causada por las fuerzas de impacto, esto es, absorber la energía del choque reduciendo la amplitud de la onda y (3) disminuir consecuentemente los rebotes, pues pueden provocar lesiones.

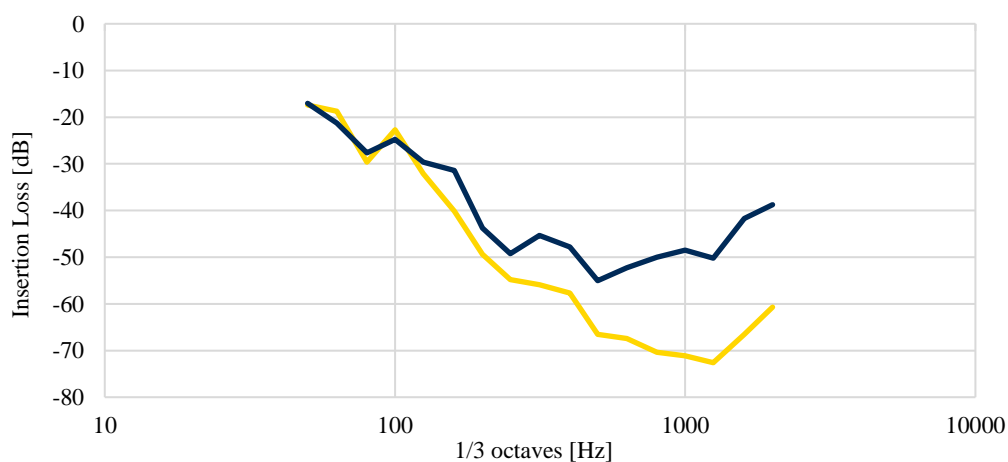


Figura 3 – Reducción del ruido (dB) medida en laboratorio, para un nivel de energía de 373 N·m y considerando la misma configuración con acabado de 30 mm sobre capa de absorción de impactos (azul oscuro) y acabado de 55 mm sobre capa de absorción de impactos (amarillo).

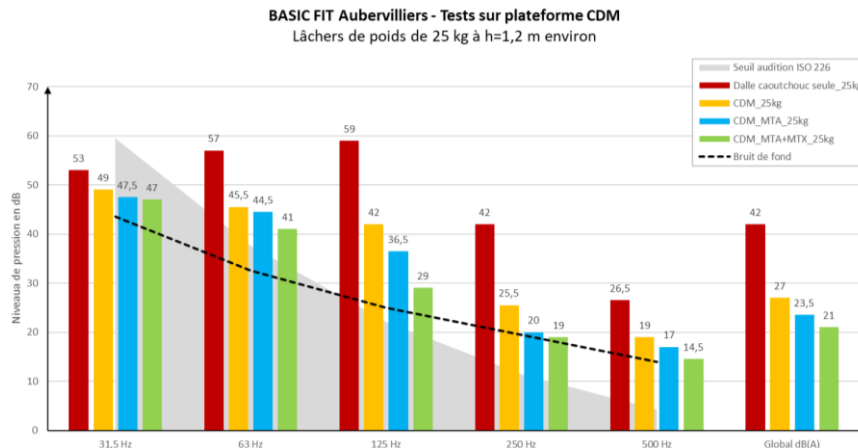


Figura 4 – Reducción del ruido (dB) medida in situ, para un nivel de energía de 295 N·m y considerando las losetas de goma existentes de 20mm (rojo), un sistema CDM-GYM con las losetas de goma existentes (amarillo), la misma configuración CDM-GYM pero intercalando una capa de absorción de 20mm (CDM-GYMPACT20) bajo las placas de acabado de 20mm (azul), y por último la solución CDM-GYM con una capa de absorción de 45mm (CDM-GYMPACT45) y las losetas de acabado existentes de 20mm.

4.2 Capa de distribución de cargas

En la fase inicial del programa de investigación de CDM, se ensayaron diferentes configuraciones de suelos flotantes, basadas tanto en losas macizas de hormigón como en suelos aligerados a base de múltiples tableros. Los resultados mostraron claramente que las soluciones ligeras pueden no sólo igualar sino mejorar el rendimiento de las losas flotantes de hormigón. Los sistemas ligeros, con la rigidez, la configuración y el amortiguamiento adecuados, pueden ofrecer mejor rendimiento a altas frecuencias.

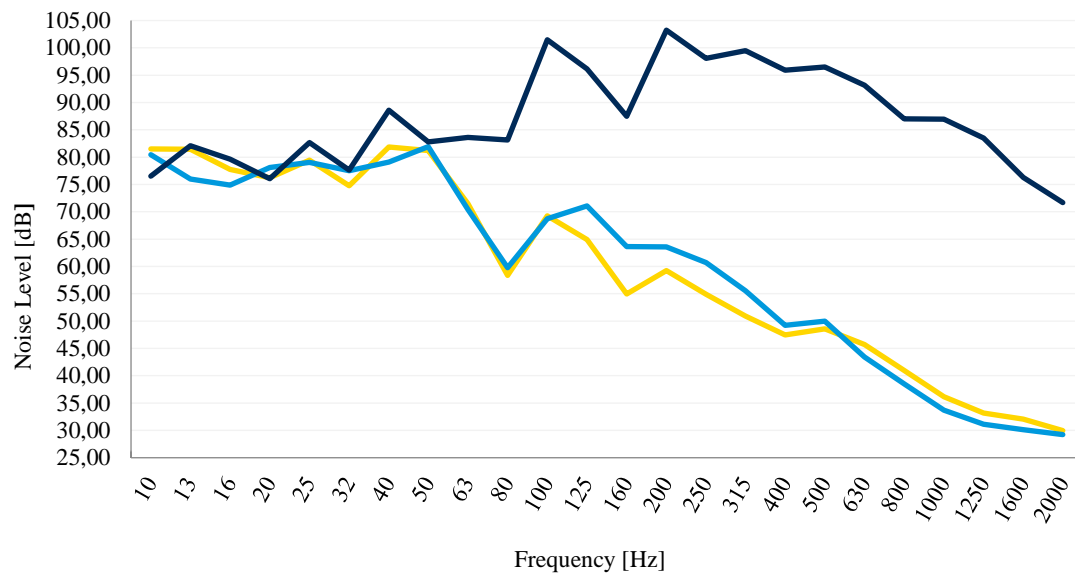


Figura 5 – Nivel de ruido (dB) medido en laboratorio, para un nivel de energía de 235 N·m y considerando únicamente la losa soporte (azul oscuro), una losa flotante maciza (azul claro) y un suelo aligerado (amarillo).

La distribución de las cargas hacia la losa soporte se garantiza por los tableros, que dan rigidez a flexión al suelo aligerado [2].

Para reducir la radiación de ruido y vibraciones bajo cargas de impacto, debe usarse una combinación de tableros con la menor eficiencia de radiación posible. Los paneles con la mejor ratio ductilidad/resistencia son los basados en madera, ya sea contrachapada u OSB/3, por ejemplo. Estos tableros presentan baja amortiguación, y curvas de pérdida de transmisión con valles en las zonas de coincidencia y resonancia. Estos valles en la zona de resonancia y coincidencia se mitigan por el conocido amortiguamiento por capa constreñida (CLD, de sus siglas en inglés), usando membranas acústicas viscoelásticas de alto amortiguamiento.

La combinación de paneles a base de madera con membranas amortiguadoras viscoelásticas ofrece la mejor combinación de rigidez a flexión, alta ductilidad, alto amortiguamiento y baja eficiencia de radiación. El impacto en los tableros resulta en un esfuerzo cortante en la(s) capa(s) de amortiguación que controlan la deformación de los paneles convirtiendo la energía mecánica (vibración) en calor [3].

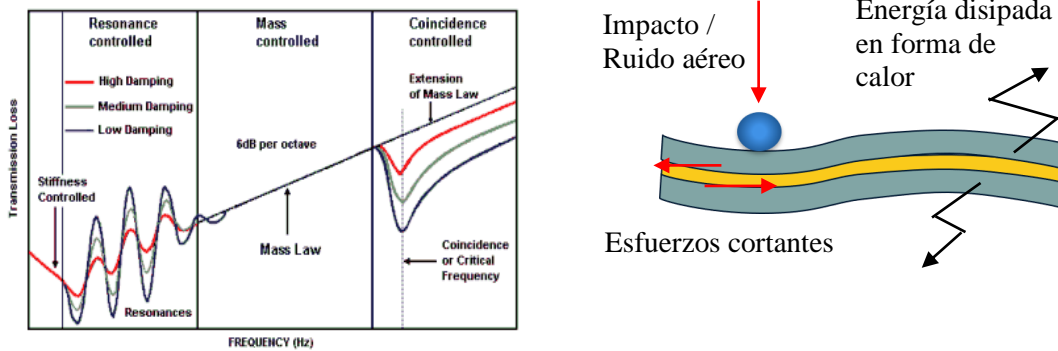


Figura 6 – (Izq.) Efectos del amortiguamiento en la pérdida de transmisión, en la región de coincidencia y resonancia; (Dcha.) Mecanismo CLD (amortiguamiento por capa constreñida) de transformación de la energía de impacto en calor vía esfuerzos a cortante.

4.3 Soporte resiliente

Durante el programa, se ensayaron diferentes configuraciones de suelos aligerados a base de diferentes soportes resilientes, incluyendo mantas continuas y tacos elastómeros discretos. Los resultados mostraron que los sistemas discretos rinden en general 5 dB mejor que las soluciones continuas.

Sistemas de suelo flotante aligerados bien diseñados, basados en apoyos elastómeros discretos, pueden rendir mejor que un sistema equivalente continuo, a lo largo de toda la banda de frecuencias, pero especialmente a bajas frecuencias [3].

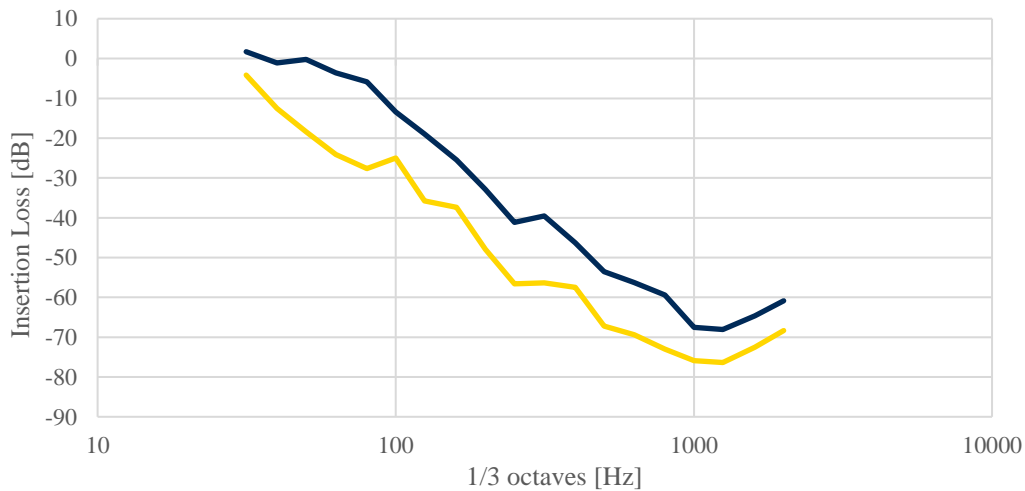


Figura 7 – Reducción de ruido (dB) medida en laboratorio, para un nivel de energía de impacto de 224 N·m y considerando la misma configuración de suelo sobre manta resiliente ondulada continua de 25mm con una frecuencia de resonancia de 15Hz (azul oscuro) y sobre apoyos resilientes discretos de 50mm de espesor, con una frecuencia de resonancia de 8Hz (amarillo)

4.4 Tecnología dBooster®

La reducción del nivel de fijación de los tableros, dejándolos en libre flotación (con un nivel mínimo de fricción) sobre los apoyos, resulta en un mayor rendimiento de aislamiento acústico. Este mecanismo aumenta el aislamiento al ruido estructural en las zonas de coincidencia y resonancia de la configuración de suelo. El concepto de flotación libre se consigue por medio de la introducción de una tira resiliente “desacopladora” fijada a la cara superior de los apoyos. Esta tira resiliente mantiene los tableros flotantes en su sitio, con una fricción suficiente pero no excesiva entre el panel inferior de distribución, y los apoyos resilientes. Ensayos in situ y en laboratorio muestran una mejoría adicional en la reducción del ruido, pero sobre todo un comportamiento más homogéneo entre diferentes niveles de energía.

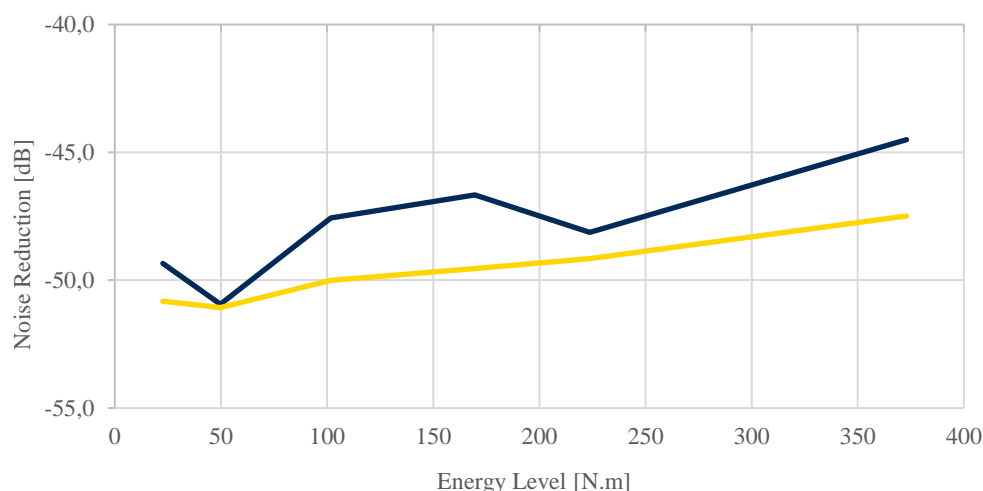


Figura 8 – Nivel medio de reducción de ruido (dB) por niveles de energía, medido en laboratorio considerando la misma configuración de suelo con y sin tecnología dBooster® (en amarillo y azul oscuro, respectivamente).

El efecto de la tecnología dBooster® es entendible también sabiendo que el nivel de ruido en habitaciones superiores depende directamente de la potencia acústica generada en la habitación receptora por la vibración del suelo flotante.

La potencia acústica (W) radiada por un suelo flotante depende del nivel de vibración del suelo ($\langle V^2 \rangle$, velocidad media cuadrática) y de la eficiencia de radiación (σ) del suelo (donde ρ es la densidad del aire, c es la velocidad del sonido en el aire y S es la superficie de la placa vibratoria):

$$W = \rho c \sigma S \langle V^2 \rangle . \quad (2)$$

Un suelo flotante con dBooster® vibra más que un suelo anclado fíjamente, pero su eficiencia de radiación es menor. dBooster® reduce significativamente la potencia acústica radiada [4].

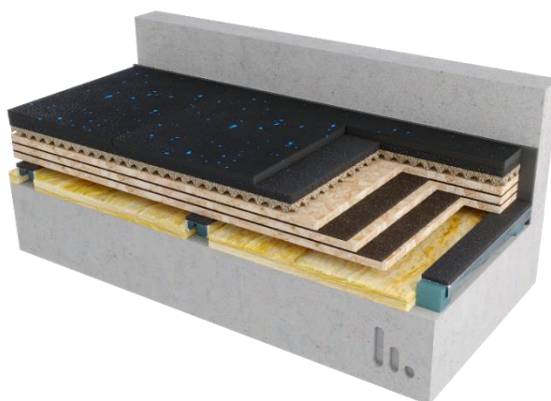


Figura 9 – Sistema aligerado de suelo flotante con tecnología dBooster®.

5 Conclusiones

Un sistema de suelo flotante ligero bien diseñado es una combinación de:

1. Una única capa de absorción de impacto, de rendimiento lo más alto posible, con un gran control de la deformación vertical, que garantice la libertad de elección de acabados y su función estética;
2. Un sandwich multicapa de distribución de cargas, que combine tableros a base de madera con membranas acústicas viscoelásticas para obtener la mejor combinación de rigidez a flexión, alta ductilidad, alto amortiguamiento y baja eficiencia de radiación, al mismo tiempo que garantice la resistencia mecánica a la energía de impacto prevista (hasta 1000 N·m);
3. La tira resiliente dBooster®, que materializa la condición de flotación libre de los paneles de distribución de cargas sobre los perfiles en “U” donde los tacos resilientes se encuentran fijos, haciendo que el rendimiento del sistema dependa en menor medida de los niveles de energía de impacto.

Referencias

- [1] Sato, Yoshimura *Classification scheme of floor impact sounds with the standard rubber ball in dwellings*, Inter-Noise (2014).
- [2] L. Garibaldi and H.N. Onah *Viscoelastic Material Damping Technology* – Becchis Osiride – Torino (1996).
- [3] H. Masoumi, P. Pinto, and P. Carels. *Improvements in acoustical performance of lightweight floating floors for gym/sports applications*. Proceeding of Euronoise 2018, Crete, Greece, pages 1683–1689, 2018.
- [4] H. Masoumi, V. Bram, and L. Reinhilde. *Experimental investigation of noise re-radiation of lightweight floating floors*. Proceeding of Inter.noise 2019, Madrid, Spain, 2019.