

## MEDICIONES DE SISTEMAS DE LOSA FLOTANTE CON APOYOS REEMPLAZABLES EN LABORATORIO

**PACS:** 43.40.Nn, 43.50.Nn, 45.58.Nn

Arana, Iñigo

CDM Stravitec SL, Av. Diagonal 131, 08018 Barcelona, Spain, +34 93 626 40 60,  
i.arana@cdm-stravitec.com)

Pinto, Paulo

CDM Stravitec, Unipessoal, Lda, Azinhaga da Torre do Fato, 33 B – Esc. A, 1600-774 Lisboa,  
Portugal, +351 217 110 430, p.pinto@cdm-stravitec.com

Rodrigues, Marina

CDM Stravitec nv, Reutenbeek 9-11, Overijse 3090, Belgium, +32 2 687 79 07,  
m.rodrigues@cdm-stravitec.com

**Palabras Clave:** losas flotantes; levadiza; sustituible; campaña de ensayos; ruido aéreo

### ABSTRACT

Floating floor systems are part of state-of-the-art modern building technology. They are an efficient option to improve the acoustical performance of buildings and can be part of box-in-box systems installed in high-performance spaces.

There are many types of high-performance floating floor types, one of which is a jack-up system that guarantees that the floor is decoupled from the structural floor.

With these systems, once the concrete has cured, the isolated slab is raised off the structure to the required void depth using pre-cast boxes. These boxes allow for easy adjustment of the final floor height and, if the use of the room or load conditions change in the future, can also allow the replacement of the isolators inside them.

Replaceable and inspectable acoustical floor systems are perceived as systems with lower sound insulation (airborne noise) than traditional floating floor or non-replaceable jack-up systems.

To measure airborne sound reduction and impact noise isolation of replaceable jack-up systems and confirm factors that can influence its performance, CDM Stravitec invested in a testing campaign, where measurements were made considering many variables, such as: concrete floating slab thickness; bearings type, air void depth, steel lid installed on top of each box and insulation material installed in the air void. This paper will present the findings of the test campaign.

### RESUMEN

Los sistemas de suelos flotantes son ya parte habitual de la técnica constructiva de vanguardia.

Existen muchos tipos de suelos flotantes de alto rendimiento, uno de los cuales es el de losas flotantes levadizas, que garantiza que la losa está desolidarizada del forjado soporte.

Con estos sistemas, una vez que el hormigón ha curado, la losa aislada se eleva, por medio de cajas embebidas en la losa, generando la altura libre requerida sobre la losa estructural. Estas cajas permiten la sustitución de los elementos aislantes resilientes en su interior.

Los sistemas de suelo flotante inspeccionables son a veces percibidos como soluciones con un nivel de aislamiento al ruido aéreo inferior en comparación con losas flotantes tradicionales o con losas levadizas no sustituibles.

Para medir la reducción de ruido aéreo y el aislamiento al ruido de impacto de sistemas levadizos sustituibles e identificar los factores que influyen en su rendimiento, CDM Stravitec completó una campaña de ensayos, en la que se consideraron muchas variables: espesor de hormigón, tipo de apoyo resiliente, altura de cavidad de aire, cierre de las cajas con tapa de acero, material absorbente instalado en la cavidad. Este documento presentará las conclusiones de la campaña de ensayos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de suelo flotante puede cumplir tres funciones, o bien una combinación de las mismas: aislamiento al ruido aéreo, a las vibraciones o al ruido de impacto.

Stravifloor es la marca que agrupa la gama de soluciones de suelos y losas flotantes de alto rendimiento de CDM Stravitec; dentro de ella, Jackup-R es el sistema de losa flotante levadiza a base de cajas (gatos) de acero embebidas en el hormigón.

Los sistemas levadizos garantizan que la losa flotante queda completamente desolidarizada del forjado soporte, por lo que reducen el riesgo de aparición de puentes acústicos entre ambas losas.

Con estos sistemas, una vez el hormigón curado, la losa aislada se eleva, como decíamos, por medio de gatos embebidos en la losa, generando la altura libre requerida sobre la losa estructural. Las cajas Stravifloor Jackup-R permiten un fácil ajuste de la altura final, así como la sustitución de los elementos aislantes resilientes en su interior, en caso de que las condiciones de carga varíen en el futuro. Los muelles o elastómeros permanecen accesibles y sustituibles, tras la instalación, vertido de la losa y ulterior levantamiento, permitiendo inspecciones futuras. Con todo, los sistemas de suelo flotante inspeccionables son a veces percibidos como soluciones con un nivel de aislamiento al ruido aéreo inferior en comparación con losas flotantes tradicionales o con losas levadizas no sustituibles.

Para medir el rendimiento acústico (reducción del ruido aéreo y aislamiento al ruido de impacto) de los sistemas Stravifloor Jackup-R, así como definir y confirmar los parámetros que pueden influir en su rendimiento, CDM Stravitec ha realizado en el Instituto Técnico de la Construcción de Bélgica la campaña de ensayos descrita en este artículo.

En esta campaña, se han llevado a cabo mediciones considerando las siguientes variables:

- Espesores de losa flotante de hormigón: 100 mm y 150 mm
- Con y sin simulación de sobrecargas de uso
- Soportes resilientes: tacos de cacho natural, y muelles
- Altura del hueco entre losas (altura de elevación losa flotante)
- Con y sin tapa de acero de 50mm sobre cada caja/gato
- Con y sin material absorbente en hueco bajo losa flotante

## 2. METODOLOGÍA DE ENSAYO

### 2.1. Aislamiento al ruido de impacto

Los ensayos se llevaron a cabo según NBN EN ISO 10140 Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements (ISO 10140-1:2021; ISO 10140-3:2021 e ISO 10140-5:2021) y NBN EN ISO 717-2:2021 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements (ISO 717-2:2020).

Se tomaron medidas entre 50 y 5000Hz, siendo el rango de evaluación el comprendido entre 100 y 3150Hz según EN ISO 717-2.

Se llevaron a cabo ensayos sobre la losa soporte desnuda, de espesor uniforme de 140 mm de hormigón armado, en una superficie de 260 cm x 442 cm, con un peto perimetral de 210 mm de altura simulando los arranques de una pared sobre la mencionada losa.

El elemento de ensayo se montó de acuerdo con NBN EN ISO 10140-3, de forma similar a una construcción real, y las pruebas se realizaron sobre cada sistema descrito en la sección 3.

Se midieron y registraron los límites de las cámaras de ensayo, a causa de la transmisión por flanco, mostrándose en la sección 4 el valor mínimo medible ( $L_{n,min}$ ).

Los valores numéricos (dados por el índice “w”) y los términos de adaptación de espectros se describen en la norma ISO 717-2:2020.

Ya que las normas ASTM E492 - 09 y EN ISO 10140-3 definen procedimientos similares para la medición y determinación del nivel normalizado de presión sonora  $L_n$ , la clasificación de aislamiento a ruido de impacto IIC se ha determinado con base en los valores medidos entre 100Hz y 3150Hz, redondeados al decibelio, según ASTM E989 – 21.

### 2.2. Aislamiento al ruido aéreo

Los ensayos se llevaron a cabo según NBN EN ISO 10140:2021 Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements (ISO 10140-1:2021 e ISO 10140-2:2021) y NBN EN ISO 717-1:2021 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements (ISO 717-1:2020).

Se tomaron medidas entre 50 y 5000Hz, siendo el rango de evaluación el comprendido entre 100 y 3150 Hz según EN ISO 717-1.

Se llevaron a cabo ensayos sobre la losa soporte desnuda según elementos y dimensiones definidos en el apartado anterior.

Se midieron y registraron los límites de las cámaras de ensayo, a causa de la transmisión por flanco, mostrándose en la sección 4 el valor máximo medible ( $R_{max}$ ).

Las normas EN ISO 10140-1 e ISO 10140-2 realizan una descripción detallada del método de medición para determinar el espectro del índice de mejora del aislamiento al ruido de recubrimientos de suelos o paredes.

Se define el índice de mejora de la reducción de ruido como la diferencia entre la reducción de ruido del elemento base con y sin el recubrimiento, para cada banda de tercio de octava:

$$\Delta R = R_{con} - R_{sin} \quad (1)$$

Ya que las normas ASTM E90 - 09 y EN ISO 10140-2 definen procedimientos similares para la medición y determinación del nivel de pérdida de transmisión TL (*Transmission Loss* en la norma ASTM) y el índice R de reducción de ruido (norma ISO), la clasificación de transmisión sonora STC se ha determinado con base en los valores medidos entre 125 Hz y 4000 Hz, redondeados al decibelio, según ASTM E413 – 16.

### 3. CONFIGURACIONES DE ENSAYO

Todos los sistemas ensayados contienen una malla de 2x3 cajas de acero de 100 mm de altura, con interdistancias de entre 1,50 y 1,70 m en ambas direcciones. En el perímetro, la losa flotante se desolidariza completamente del peto perimetral por medio de una tira de lana mineral de 20 mm de espesor.

Las diferencias entre los ensayos de las diferentes configuraciones se describen a continuación.



Figura 1 – Instalación del aislamiento perimetral y cajas Stravifloor Jackup-R ya instaladas, con mallazo de refuerzo.

#### 3.1. Configuración nº 1: Stravifloor Jackup-R con apoyos resilientes elastómeros, losa flotante de 100 mm sobre cámara de aire de 50 mm

1. Losa flotante de hormigón armado de 100 mm
2. Caja (gato) de acero reforzada con taco Pad-HHR50 [dim. 104x64x50 mm] con frecuencia natural aprox. 7 Hz
3. Film polietileno
4. Cámara de aire 50 mm
5. Losa hormigón armado 140 mm

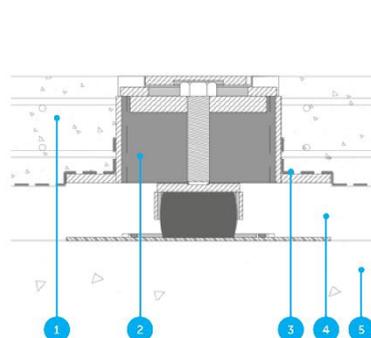


Figura 2 – Sección de la configuración nº 1.

**3.2. Configuración nº 2: Stravifloor Jackup-R con apoyos resilientes elastómeros, losa flotante de 100 mm sometida a sobrecarga de uso (sacos de arena) sobre cámara de aire de 50 mm**

La segunda configuración presenta la misma composición que la nº 1 pero con la adición de una sobrecarga de uso de 100 kg/m<sup>2</sup>, simulada por medio de sacos de arena posicionados sobre la losa, entre las cajas (nunca sobre ellas).



Figura 3 – Sobrecarga de uso de 100 kg/m<sup>2</sup>, simulada mediante sacos de arena.

**3.3 Configuración nº 3: Stravifloor Jackup-R con apoyos resilientes elastómeros, losa flotante de 150 mm sometida a sobrecarga de uso (sacos de arena) sobre cámara de aire de 50 mm**

1. Losa flotante de hormigón armado de 150 mm
2. Caja (gato) de acero reforzada con taco Pad-X<sub>HR50</sub> [dim. 104x64x50 mm] con frecuencia natural aprox. 8 Hz
3. Film polietileno
4. Cámara de aire 50 mm
5. Losa hormigón armado 140mm

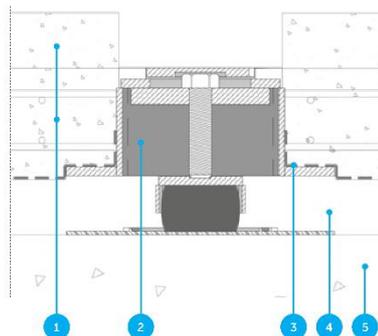


Figura 4 – Sección de la configuración nº 3.

Las cajas-gato de 100 mm de canto quedaron embebidas en la losa flotante con el primer vertido de hormigón, de idénticos 100 mm de altura. Se hormigonaron 50 mm suplementarios en un segundo vertido, tras haber colocado poliestireno sobre cada caja, para que el interior de éstas permaneciera accesible (este poliestireno de 50mm de espesor tiene carácter temporal y fue retirado antes de los ensayos). Se aplicó, por último, la sobrecarga de uso de 100 kg/m<sup>2</sup>.

**3.4. Configuración nº 4: Stravifloor Jackup-R con apoyos resilientes de muelle, losa flotante de 150 mm sometida a sobrecarga de uso (sacos de arena) sobre cámara de aire de 50 mm**

1. Losa flotante de hormigón armado de 150 mm
2. Caja (gato) de acero reforzada con muelles de 4,5Hz (2uds 4kN en bordes de losa y 2x4kN+2x1,35kN en centro losa flotante)
3. Film polietileno
4. Cámara de aire 50 mm
5. Losa hormigón armado 140mm

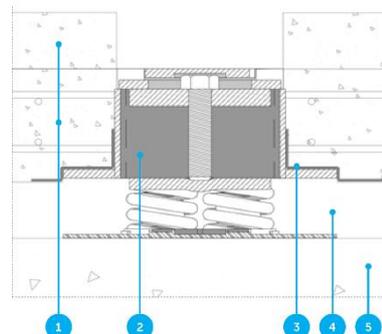


Figura 5 – Sección de la configuración nº 4 .

La base de los gatos está tratada con una capa blanda a base de compuesto EPDM de alta densidad, con un espesor total de 8 mm (6 mm bajo muelles). Se aplica, por último, la sobrecarga de uso de 100 kg/m<sup>2</sup>.

**3.5. Configuración nº 5: Stravifloor Jackup-R con apoyos resilientes elastómeros y tapa de acero; losa flotante de 150 mm sometida a sobrecarga de uso (sacos de arena) sobre cámara de aire de 50 mm**

1. Losa flotante de hormigón armado de 150mm
2. Tapa de acero de 50 mm
3. Caja (gato) de acero reforzada con taco Pad-X<sub>HR50</sub> [dim. 104x64x50 mm] con frecuencia natural aprox. 8 Hz
4. Film polietileno
5. Cámara de aire 50 mm
6. Losa hormigón armado 140mm

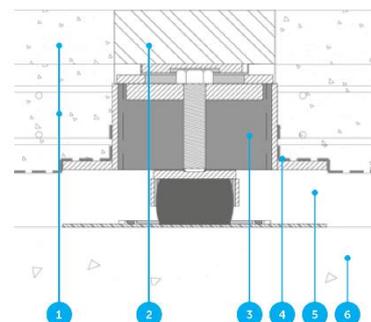


Figura 6 – Sección de la configuración nº 5.

Los ensayos se realizaron con aplicación de una sobrecarga de uso de 100 kg/m<sup>2</sup>. La tapa de acero de 50 mm se colocó sobre cada caja tras el levantamiento de la losa flotante, en el hueco dejado por el poliestireno retirado.

**3.6. Configuración nº 6: Stravifloor Jackup-R con apoyos resilientes elastómeros, losa flotante de 150 mm sometida a sobrecarga de uso (sacos de arena) sobre cámara de aire de 20 mm**

1. Losa flotante de hormigón armado de 150 mm
2. Caja (gato) de acero reforzada con taco Pad-X<sub>HR50</sub> [dim. 104x64x50 mm] con frecuencia natural aprox. 8 Hz
3. Film polietileno
4. Cámara de aire 20 mm
5. Losa hormigón armado 140 mm

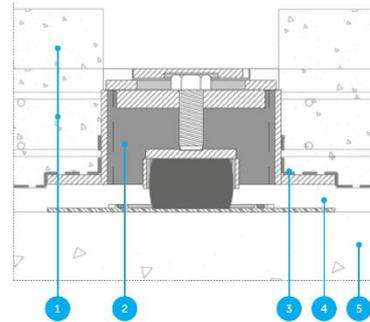


Figura 6 – Sección de la configuración nº 6.

Se aplica, por último, la sobrecarga de uso de 100 kg/m<sup>2</sup>.

**3.7. Configuración nº 7: Stravifloor Jackup-R con apoyos resilientes elastómeros, losa flotante de 150 mm sometida a sobrecarga de uso (sacos de arena) sobre cámara de aire de 50 mm con 20 mm de material absorbente (lana mineral)**

1. Losa flotante de hormigón armado de 150 mm
2. Caja (gato) de acero reforzada con taco Pad-X<sub>HR50</sub> [dim. 104x64x50 mm] con frecuencia natural aprox. 8 Hz
3. Film polietileno
4. Cámara de aire 30 mm
5. Material absorbente 20 mm (lana mineral)
6. Losa hormigón armado 140 mm

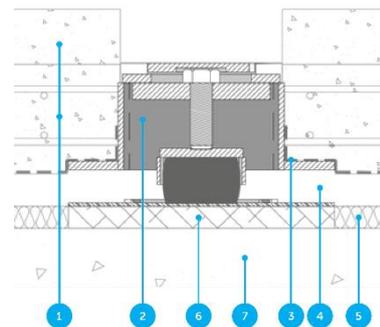


Figura 8 – Sección de la configuración nº 7.

Se aplica, por último, la sobrecarga de uso de 100 kg/m<sup>2</sup>.



Figura 9 – Losa flotante de hormigón tras curado, con los gatos destapados, listos para proceder con el levantamiento.

#### 4. RESULTADOS

Tabla 1 – Valores globales de aislamiento al ruido de impacto y al ruido de impacto para las diferentes configuraciones ensayadas.

Configuración	$L_{n,w} (C_i)$	$\Delta L_w (C_{i,\Delta})$	IIC	R (C, $C_{tr}$ )	STC
Losa desnuda	80 (-12)	-	25	59 (-2,6)	58
1	36 (-4)	42 (-9)	74	75 (-3,-8)	74
2	38 (0)	39 (1)	69	76 (-3,-9)	73
3	38 (-5)	40 (-8)	69	79 (-3,-8)	78
4	37 (-5)	41 (-8)	71	77 (-3,-9)	75
5	37 (-5)	41 (8)	71	80 (-4,-10)	78
6	36 (-1)	40 (-10)	74	74 (-3,-9)	73
7	32 (-3)	45 (10)	77	80 (-3,-9)	80

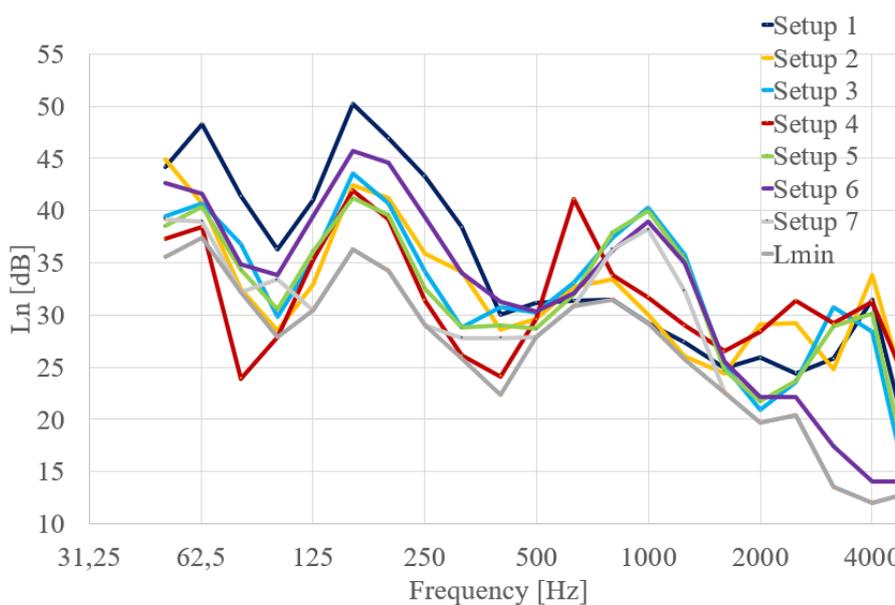


Figura 10 – Aislamiento al ruido de impacto de las diferentes configuraciones, y  $L_n$  mín. medible.

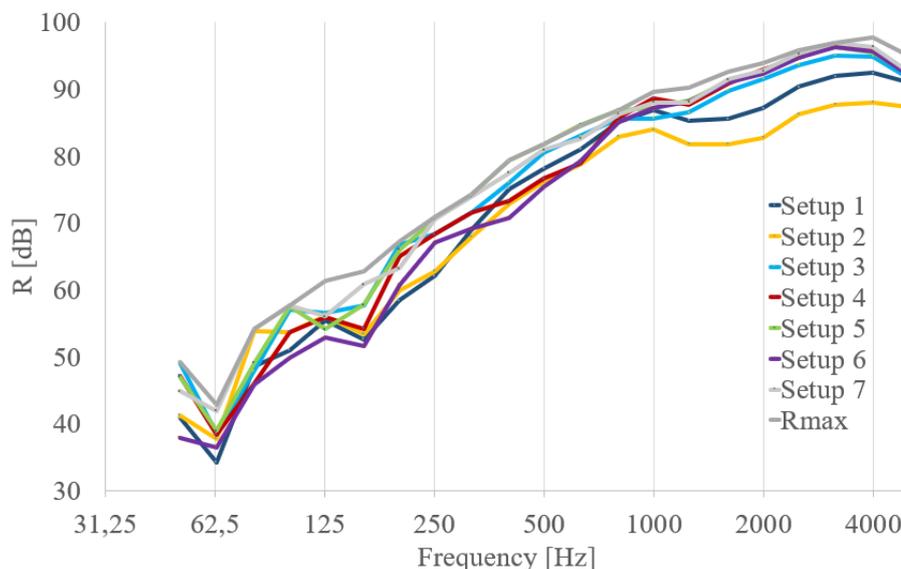


Figura 11 – Aislamiento al ruido aéreo de las diferentes configuraciones y R máxima medible.

## 5. CONCLUSIONES

Las losas flotantes levadizas en general, y el sistema Stravifloor Jackup-R en particular, proporcionan excelentes resultados en términos de rendimiento acústico. A lo largo de esta campaña de ensayos, quedó claro que los sistemas de losas flotantes regulables son ideales tanto para el aislamiento al ruido aéreo como para el de impacto, contrariamente a la percepción común del mercado. Se consideraron varios parámetros para evaluar cada configuración minuciosamente. Se registraron los hallazgos meticulosamente, llegando a los siguientes resultados.

### 5.1. Sistemas levadizos con apoyo sustituible

Las cavidades creadas por los gatos embebidos en la losa flotante apenas afectan al rendimiento global del sistema. La adición de una tapa de acero de 50mm de espesor sobre cada caja, tras el levantamiento de la losa, no dio lugar a diferencias relevantes en términos de aislamiento al ruido de impacto. Tanto con tapa complementaria como sin ella, los sistemas Stravifloor Jackup-R aíslan eficazmente el ruido de impacto y reducen el ruido aéreo. La ventaja añadida de poder inspeccionar y sustituir los soportes resilientes en cualquier momento compensa con creces la diferencia marginal en el rendimiento acústico.

### 5.2. Presencia o ausencia de sobrecarga de uso

El soporte resiliente debe ser diseñado acorde a la carga esperada. Los apoyos utilizados en un sistema levadizo de losa flotante no pueden ser demasiado rígidos ni demasiado blandos, pues ello crearía un sistema acústico deficiente. La selección del tipo de soporte resiliente debe también considerar las cargas de la losa flotante y la losa portante para alcanzar la respuesta deseada de frecuencia. La flexibilidad en términos de soportes (elastómeros o muelles) permite crear un sistema a medida con rendimiento acústico óptimo.

Para representar las sobrecargas de uso, se utilizaron sacos de arena sobre la losa flotante, entre las cajas. Además, al cambiar el espesor de la losa flotante de 100 mm a 150 mm, se cambió la tipología de los apoyos resilientes para adaptarla a las nuevas condiciones de carga, pasando de tacos de alta rigidez a otros de rigidez extrema. En el caso de los muelles, se corrigió

su tipología y número, teniendo siempre en cuenta que las cajas en los bordes de la losa tienen un área de influencia menor que las del centro (y, por tanto, soportan menor carga).

Consecuencia de todo ello, se concluye que cuando los soportes resilientes se diseñan acorde a las cargas permanente y de uso esperadas, el aislamiento al ruido de bajas frecuencias mejora, gracias a la menor frecuencia de resonancia de los apoyos.

### 5.3. Ruido de flanco

Teniendo en cuenta los límites de las cámaras de ensayo, se puede concluir también que el aislamiento al ruido aéreo de altas frecuencias está limitado por la transmisión de ruido de flanco. Los datos muestran, dentro de las configuraciones con elastómeros, un mayor nivel de ruido de impacto (+2dB) para la losa de 150 mm que para la de 100 mm. Esta pequeña diferencia es debida a la mayor frecuencia natural de los tacos usados para soportar la losa más espesa, pues su mayor peso requiere de mayor rigidez.

### 5.3. Cámara de aire y material absorbente bajo losa flotante

A lo largo de la campaña, se ensayaron algunas configuraciones idénticas con diferentes alturas (espesores) de cámara de aire, permitiendo concluir que el hueco entre la losa flotante y el forjado soporte tiene, principalmente, influencia en el aislamiento al ruido aéreo.

Tras introducir lana mineral, los resultados mejoran de forma significativa, pues la absorción añadida previene la aparición de ondas estacionarias en la cavidad, que podrían causar transmisiones indeseadas a altas frecuencias.

### 5.4. Tacos o muelles

El sistema Stravifloor Jackup-R está disponible tanto con apoyos de muelle como elastómeros. Comparando las configuraciones con una opción u otra, la diferencia principal radica obviamente en la frecuencia natural objetivo del sistema. La frecuencia natural requerida puede ser uno de los requerimientos de diseño, en función de las frecuencias propias de la estructura soporte, o de la frecuencia de excitación. Se pueden alcanzar niveles muy similares de aislamiento con losas flotantes de hormigón soportadas por elastómeros y por muelles, tanto al ruido de impacto (IIC/L<sub>n</sub>) como al ruido aéreo (STC/R<sub>w</sub>).

## REFERENCIAS

1. ASTM E413-16 – Classification for Rating Sound Insulation
2. ASTM E90 - 09 Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements
3. ASTM E492: Standard Test Method for Laboratory Measurement of Impact Sound Transmission Through Floor-Ceiling Assemblies Using the Tapping Machine
4. ASTM E989-21: Standard Classification for Determination of Single-Number Metrics for Impact Noise
5. ISO 10140-1:2021, Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 1: Application rules for specific products
6. ISO 10140-2:2021, Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 2: Measurement of airborne sound insulation
7. ISO 10140-3:2021, Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 3: Measurement of impact sound insulation
8. ISO 10140-5:2021, Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 5: Requirements for test facilities and equipment
9. ISO 717-1:2013, Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation
10. ISO 717-2, Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation