



SIMULACIÓN DE MEDIDAS ACÚSTICAS Y MEDICIONES IN SITU DE UNA VIVIENDA DE NUEVA CONSTRUCCIÓN EN BARCELONA

Christian Dario Iguamba Quishpe

Tutores: Jose Sánchez-Dehesa Moreno & Arnau Lorente Jose

Cotutor: Francisco Salvador Cervera Moreno

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

Curso 2018-19

Valencia, 25 de junio de 2018



Resumen

La contaminación acústica es un problema que con el paso de generaciones ha ido adquiriendo mayor importancia por parte de la sociedad y es que, el ruido no deseado afecta directamente a nuestro comportamiento, nuestra productividad en el puesto de trabajo y en cómo nos relacionamos con los demás. De ahí la importancia de las leyes y normativas por parte de administraciones para proteger a la ciudadanía de una sobre exposición a los ruidos no deseados.

En el presente Trabajo Final de Grado se muestra el procedimiento de análisis de varios aislamientos acústicos dentro de una vivienda de nueva construcción localizada en la ciudad de Barcelona por parte de una empresa certificada para ello. De manera conjunta se han realizado simulaciones previas mediante la herramienta de cálculo del Documento Básico de protección frente al ruido, todo esto con la finalidad de hacer una comparación con los datos obtenidos de las mediciones de los ensayos in situ.

Resum

La contaminació acústica és un problema que amb el pas de les generacions ha anat adquirint una major rellevància per part de la societat, ja que el soroll no desitjat afecta directament al nostre comportament, a la nostra productivitat en el lloc de treball i a la manera en la que ens relacionem amb els altres. D'ací la importància de les lleis i normatives per part de les administracions amb la finalitat de protegir a la ciutadania d'una sobreexposició als sorolls no desitjats.

En aquest treball final de grau es mostra el procediment d'anàlisi de diversos aïllaments acústics en l'interior d'un habitatge de nova construcció localitzat en la ciutat de Barcelona per part d'una empresa certificada per a realitzar aquesta tasca. De manera conjunta s'han realitzat simulacions prèvies utilitzant la ferramenta de càlcul del Document Bàsic de protecció enfront del soroll, amb la finalitat de realitzar una comparació amb les mesures obtingudes als assaigs in situ.

Abstract

Noise pollution is a problem that over the years has acquired more importance in our society, the main reason is that the unwanted noise directly affects our behaviour, our productivity in the workplace and how we connect with the rest of the people. That is why the laws and regulations by administrations have become so important nowadays, they need to protect their citizens from over exposure to unwanted noise.

In this Final Grade Project is shown the procedure of analysis of several acoustic insulation tests of a newly building destined to accommodate families, this construction is located in the city of Barcelona and the measurements will be taken by a certified company. In order to complement this project some simulations were done with a software developed by the Documento Básico de protección frente al ruido, all this in order to make a comparison with the measurements of the tests in situ.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Capítulo 1. Introducción y Objetivos | 4 |
| 1.1 Introducción y Motivación | 4 |
| 1.2 Objetivos | 5 |
| Capítulo 2. Contextualización | 6 |
| Capítulo 3. Metodología | 9 |
| 3.1 Normas UNE-EN ISO | 9 |
| 3.1.1 UNE-EN ISO 140-4 | 9 |
| 3.1.2 UNE-EN ISO 140-5 | 11 |
| 3.1.3 UNE-EN ISO 140-7 | 12 |
| 3.2 Metodología mediciones in situ | 14 |
| 3.3 Equipo de trabajo | 17 |
| 3.4 Metodología simulaciones | 19 |
| Capítulo 4. Comparación de simulaciones con resultados in situ. | 31 |
| 4.1 Aislamiento aéreo de elemento de separación vertical. | 31 |
| 4.1.1 Aislamiento aéreo de elemento de separación vertical AA-06 | 31 |
| 4.1.2 Aislamiento aéreo de elemento de separación vertical AA-07 | 35 |
| 4.2 Aislamiento aéreo de elementos de separación horizontal. | 39 |
| 4.2.1 Aislamiento aéreo de elemento de separación vertical AA-10 | 39 |
| 4.2.2 Aislamiento aéreo de elemento de separación vertical AA-11 | 43 |
| 4.3 Aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos. | 47 |
| 4.3.1 Aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos AI-02 | 47 |
| 4.3.2 Aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos AI-03 | 50 |
| 4.4 Aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachada | 54 |
| 4.4.1 Aislamiento acústico a ruido de elementos de fachada AF-01 | 54 |
| 4.4.2 Aislamiento acústico a ruido de elementos de fachada AF-04 | 58 |
| Capítulo 5. Conclusiones y propuestas de trabajos futuro | 63 |
| Capítulo 6. Bibliografía | 64 |
| Capítulo 7. Anexos | 66 |



Capítulo 1. Introducción y Objetivos

1.1 Introducción y Motivación

Un certificado acústico es un documento que garantiza que una vivienda o actividad cumple con los límites de contaminación acústica marcados por la normativa autonómica o en la propia ordenanza municipal como es en el caso de la ciudad de Barcelona.

Actualmente España es el país con más contaminación acústica de toda Europa y el segundo del mundo por detrás de Japón [1], de ahí que sea necesario proteger a la ciudadanía desde las instituciones. En este aspecto el ayuntamiento de Barcelona se rige por L'Ordenança del Medi Ambient de Barcelona (OMA) donde se recogen todos los requisitos a nivel acústico que se exigen tanto a una actividad como puede ser desde un bar, pasando por industria, hasta los edificios de nueva construcción como es el caso que se estudia en este Trabajo Final de Grado (en adelante, TFG).

Este tipo de mediciones sólo pueden ser realizadas por Entidades de Protección de la Contaminación Acústica (EPCA) que posteriormente entregarán el informe correspondiente tanto a su cliente como al ayuntamiento de Barcelona, una de estas entidades es DEKRA, empresa en la que actualmente trabajo.

DEKRA es un organismo certificador de referencia, es el número 3 mundial en inspección, verificación y certificación en varias campos de actividad, entre ellos el acústico [2].

Estas mediciones acústicas pueden ser periódicas o puntuales, estas últimas son lo más común en el caso de actividades de ocio, restaurantes y viviendas que necesitan de un certificado de aislamiento para así poder optar a una licencia de actividad o vivienda. Por otro lado están las mediciones de industria que son periódicas y se han de realizar cada dos años según marca la OMA.

La finalidad de este TFG es llevar un seguimiento de las diferentes fases por las que atraviesa una comprobación de aislamiento acústico real de un edificio de nueva construcción después de la ejecución de las obras y antes de la otorgación de la licencia de primera ocupación. De igual manera, se han llevado a cabo simulaciones con la herramienta de cálculo del Documento Básico de protección frente al ruido, esto con el fin de hacer comparaciones con los resultados de los ensayos in situ.



Por todo esto, se considera que se trata de una oportunidad única para realizar un estudio acústico de principio a fin de una gran edificación con diferentes ensayos en los que se pondrán en práctica los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones con especialidad en Imagen y Sonido.

Se cuenta con los respectivos permisos por parte de la constructora y la Entidad de Control para utilizar: planos, datos e información relevante para los ensayos tanto teóricos como in situ.

1.2 Objetivos

El bloque de viviendas objeto de análisis acústico corresponde a una edificación de habitaciones plurifamiliares con ocho plantas, doce habitaciones y aparcamiento en la planta subterránea. El edificio es de nueva construcción y se encuentra situado en el distrito de Poble Nou, Barcelona.

La estructura de este TFG viene marcada por los resultados de los ensayos previos (simulaciones) y de los que se han generado a partir de los datos obtenidos de las mediciones in situ. Los ensayos teóricos previos aunque no sean exigidos por el ayuntamiento se han hecho con el fin de realizar una comparación a posteriori con los resultados de las mediciones in situ y comprobar si estos coinciden y en el caso de que no lo hagan determinar las posibles causas.

Las mediciones in situ y simulaciones de ensayo en las que se centran en este TFG son aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de separación vertical y horizontal, aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y fachadas así como aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos.

En resumen, los principales enfoques de este TFG son el de dar a conocer cómo son las diferentes mediciones acústicas que ha de atravesar un edificio de nueva construcción y rehabilitación según el marco que establece la OMA y comprobar la precisión de la herramienta de cálculo del Documento Básico de protección frente al ruido (DB-HR), que es un software desarrollado por el Ministerio de Fomento y de libre utilización para este tipo de ensayos.



Capítulo 2. Contextualización

Como hemos mencionado en el capítulo anterior para la simulación de los ensayos hemos utilizado la herramienta de cálculo del DB-HR [3] que funciona con una base de datos de materiales de construcción incorporada y/o con una base de datos editable. Esta última es una herramienta muy útil a la hora de trabajar con los datos más precisos posible extraídos de los materiales que nos proporcionan los planos de arquitectura.

Cada vez que se inicia una oferta de aislamiento acústico nuestra empresa solicita los respectivos planos con el fin de estudiar y determinar con criterio técnico cuáles son los mejores lugares para posicionar nuestras herramientas de trabajo y obtener unos datos de las mediciones que sean válidos para las diferentes pruebas de aislamiento que se solicitan por parte de la diferentes normas ISO que se mencionan más adelante.

De esta manera, los recintos de medida que se han simulado con la herramienta de cálculo del DB-HR han sido los mismos con los que a posteriori se han medido in situ.

La OMA, publicada en el Boletín Oficial de la Provincia de Barcelona, el 2 de mayo del 2011, en el apartado 4 del artículo 45-1 [4] establece lo siguiente:

Para comprobar que el aislamiento acústico real se ajusta al valor proyectado, el ayuntamiento exigirá a todos los edificios de nueva construcción, después de la ejecución de las obras y antes de la otorgación de la licencia de primera ocupación, los certificados de las medidas de aislamiento in situ de lo siguiente:

- Aislamiento acústico al sonido aéreo de fachada según: UNE-EN ISO-140-5 [6]
- Aislamiento acústico al sonido aéreo de elementos de separación vertical entre recintos de unidades de uso diferente según UNE-EN ISO 140-4 [5]
- Aislamiento acústico al sonido aéreo de elementos de separación horizontal entre recintos de unidades de uso diferente según UNE-EN ISO 140-4 [5]
- Aislamiento acústico al sonido de impacto de elementos de separación horizontal entre unidades de uso diferentes según UNE-EN ISO 140-7 [7]
- Aislamiento acústico al sonido aéreo de elementos de separación horizontal i/o vertical entre una unidad de uso y un recinto de instalaciones según UNE-EN ISO 140-4 [5]
- Aislamiento acústico al sonido aéreo de elementos de separación horizontal entre una unidad de uso y un recinto de actividad según UNE-EN ISO 140-4 [5]
- Aislamiento acústico al sonido aéreo de elementos de separación horizontal entre una actividad y un recinto habitable según UNE-EN ISO 140-7 [7]



Sin embargo, de los ensayos mencionados con anterioridad hemos de descartar los dos últimos debido a que este edificio está destinado únicamente para la vivienda por lo que no cuenta con recintos de actividad.

El resto de ensayos se simularán y analizarán en este documento, con excepción del aislamiento acústico al sonido aéreo de elementos de separación horizontal i/o vertical entre una unidad de uso y un recinto de instalaciones ya que se ha considerado que con las simulaciones de aislamiento aéreo de elementos verticales y horizontales entre recintos de unidades de uso diferente el presente TFG contendrá suficiente información y documentación como para entender la metodología de ese tipo de ensayos también.

En este punto cabe también explicar qué se entiende por recinto y los diferentes tipos con los que nos podemos encontrar.

- **Unidad de uso:** Edificio o parte de un edificio que se destina a un uso específico, y cuyos usuarios están vinculados entre sí, bien por pertenecer a una misma unidad familiar, empresa; o bien por formar parte de un grupo o colectivo que realiza la misma actividad
- **Recinto:** espacio del edificio limitado por cerramientos, particiones o cualquier otro elemento de separación.
- **Recinto de actividad:** Aquellos recintos, en los edificios de uso residencial, hospitalario o administrativo, en los que se realiza una actividad distinta a la realizada en el resto de los recintos del edificio en el que se encuentra integrado, siempre que el nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, del recinto sea mayor que 70 dBA.
- **Recinto de instalaciones:** Recinto que contiene equipos de instalaciones colectivas del edificio que sean susceptibles de alterar las condiciones ambientales de dicho recinto.
- **Recinto habitable:** Recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran recintos habitables los siguientes:
 - a) habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) en edificios residenciales.
 - b) aulas, salas de conferencias, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente.
 - c) quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario u hospitalario.
 - d) oficinas, despachos, salas de reunión, en edificios de uso administrativo.
 - e) cocinas, baños, aseos, pasillos, en edificios de cualquier uso.
 - f) cualquier otro con un uso asimilable a los anteriores.



De la misma manera se consideran recintos no habitables aquellos no destinados al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional o excepcional y por ser bajo el tiempo de estancia, solo exige unas condiciones de salubridad adecuadas, claros ejemplos son los trasteros, cámaras técnicas y desvanes no acondicionados, y sus zonas comunes.

- **Recinto protegido:** Recinto habitable con mejores características acústicas. Se consideran recintos protegidos los recintos habitables de los casos a), b), c) y d).

En el caso en el que en un recinto se combinen varios usos de los anteriores, siempre que uno de ellos sea protegido, a los efectos del Documento Básico se considerará recinto protegido.

- **Recinto ruidoso:** Recinto, de uso generalmente industrial, cuyas actividades producen un nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, en el interior del recinto, mayor que 80 dBA.

Por último, para determinar el número de mediciones para cada tipo de ensayo nos hemos de apoyar en lo que establece la OMA. Según la ordenanza, el número mínimo de ensayos que se han de realizar con cada elemento constructivo diferente que compone el edificio será el 10% o la raíz cuadrada del número de habitaciones que integran el edificio, de donde se coge siempre el valor más alto de ambas.

| | | |
|---------------------|------|----------|
| 10% de 12 | 1.2 | - |
| Raíz cuadrada de 12 | 3.46 | 4 |

Tabla 1. Cálculo de número mínimo de ensayos por certificado .

Por lo tanto el número de ensayos a realizar será 4 para cada uno de los 5 certificados de las medidas de aislamiento in situ que se solicitan para este edificio de nueva construcción.



Capítulo 3. Metodología

El objetivo de este capítulo es detallar el procedimiento que se ha seguido en las simulaciones previas así como la metodología de los ensayos realizados in situ de la edificación en la que se centra este TFG.

Cabe destacar en este capítulo que tanto los planos como los materiales de construcción que aparecen en este TFG son los mismos que aparecen en el proyecto de la constructora, para garantizar la protección de datos, tanto nombres, como direcciones y fechas han sido omitidos de los informes que se presentan más adelante.

Como se ha mencionado previamente, se planteó la idea de fragmentar el estudio de aislamiento acústico en tres partes bien diferenciadas: simulaciones de ensayos por software, análisis de los datos recogidos en las mediciones in situ y por último una comparación entre ambos con el fin de establecer dónde se producen las posibles discrepancias de los resultados.

3.1 Normas UNE-EN ISO

La metodología para llevar a cabo las diferentes mediciones de aislamiento in situ viene marcada por lo establecido en la OMA que a su vez hace referencia a diferentes normas ISO. Para medir las propiedades de los diferentes tipos de aislamiento que se nos solicitan se han seguido los métodos que se especifican en las Normas ISO 140-4, 140-5 y 140-7.

A continuación se presenta un resumen con los puntos más importantes de estas normas en relación a las mediciones in situ que hemos realizado.

3.1.1 UNE-EN ISO 140-4

En esta norma se especifica los métodos aplicables in situ para medir las propiedades de aislamiento acústico al ruido aéreo de las paredes interiores, de los techos y de las puertas entre dos recintos colindantes para determinar la protección aportada a los ocupantes del edificio.

- **Equipo:**

- La precisión del sonómetro encargado de la obtención de las medidas de nivel sonoro debe cumplir los requisitos definidos en las Normas CEI 60651 y CEI 60804.
- Los instrumentos utilizados para la medición del tiempo de reverberación deberá cumplir con los requisitos definidos en la Norma ISO 354.
- Los equipos de medición incluyendo el sonómetro deberán ser ajustado antes de cada medición, si el fabricante del sonómetro no especifica otra cosa, se deberá



realizar mediante calibrador acústico que cumpla con los requisitos de la Norma CEI 60942.

- **Proceso y evaluación del ensayo:**

- Las mediciones de aislamiento acústico aéreo siempre en bandas de tercio de octavas, a no ser que previamente se haya establecido realizar las mediciones en bandas de octavas.
- Debe situarse la fuente sonora en el recinto de tal manera que se cree un campo sonoro tan difuso como sea posible y a una distancia del elemento de separación vertical u horizontal de forma que ésta influya la transmisión y a la vez que la radiación directa sobre el elemento no sea dominante.
- Si la fuente sonora posee más de un altavoz funcionando a la vez, estos han de estar conectados en fase o por lo menos se ha de garantizar que la radiación del sonido es omnidireccional y uniforme
- El sonido generado en el recinto emisor debe ser estacionario y debe tener un espectro continuo en el rango de frecuencias considerado.
- El espectro sonoro en el recinto emisor no debe tener diferencias de nivel mayores de 6 dB entre bandas de tercio de octavas adyacentes.
- La potencia sonora debe ser lo suficientemente alta como para que el nivel de presión sonora en el recinto receptor sea, al menos, 10 dB más alto que el nivel de ruido de fondo en cualquier banda de frecuencia.

- **Medición del nivel medio de presión sonora.**

Se consigue el nivel medio de presión sonora mediante un único sonómetro (micrófono) situado sucesivamente en cada posición, o mediante un conjunto de micrófonos fijos, o mediante un micrófono en movimiento continuo u oscilante. Posteriormente los diferentes niveles de presión sonora obtenidos se deben promediar para todas las posiciones del micrófono.

Cuando se utilice una sola fuente como ha sido en nuestro caso, ésta se ha de posicionar en, al menos, dos posiciones fijas. Posteriormente con el sonómetro se han de realizar como mínimo cinco mediciones para cada posición de la fuente en el mismo recinto emisor con la finalidad de determinar la radiación direccional de ésta.

La fuente debe ser excitada con una señal de ruido, como por ejemplo ruido rosa. Una vez se haya concluido con las mediciones en el recinto emisor se deberá cambiar de lugar de trabajo para realizar las mediciones en el recinto receptor, también cinco mediciones, respetando las distancias mínimas.

Posiciones Fuente

- Cuando se utilice una sola fuente, debería posicionarse ésta en al menos dos posiciones.
- Si son solo dos posiciones, se han de distanciar un mínimo de 1.4 metros.
- En caso de ser más de dos posiciones, la distancia mínima entre fuentes es 0.7 metros.
- Las distancias entre bordes del recinto y el centro de la fuente no debe ser menor que 0.5 metros.
- Las diferentes posiciones no deben situarse en un mismo plano paralelo a las paredes del recinto.



Posiciones Sonómetro, valores mínimos

- 0.7 m. entre posiciones de sonómetro
- 0.5 m. entre cualquier posición del sonómetro y los bordes del recinto
- 1 m. entre cualquier posición del sonómetro y la fuente sonora.

3.1.2 UNE-EN ISO 140-5

En esta parte de la Norma ISO 140 tenemos dos series de métodos para la medición del aislamiento a ruido aéreo de elementos de fachada y fachadas completas (edificio entero). El método de aislamiento para elementos busca cuantificar el índice de reducción sonora de un elemento de fachada, por ejemplo una ventana. Es el tipo de aislamiento que se evalúa en las mediciones in situ.

Los métodos globales, por otra parte, valoran el comportamiento de una fachada completa y la diferencia del nivel sonoro exterior/interior en las condiciones de tráfico existentes. Este tipo de medición pueden también usar un altavoz como fuente sonora artificial.

Para esta edificación se nos solicita el aislamiento de elementos de fachada y por ende se utilizará un altavoz como fuente sonora, los resultados de esta medición a su vez son los que más se aproximan a las medidas de laboratorio del elemento principal que se esté analizando en la fachada.

- **Equipo.**
 - Idem ISO 140-4
- **Proceso y evaluación del ensayo.**
 - Las medidas in situ del aislamiento a ruido de elementos de fachada deberán hacerse en tercios de octava a menos que antes se haya convenido realizar las mediciones en bandas de octava.
 - Frecuencias de interés, como mínimo las bandas de frecuencias centrales desde 100 Hz hasta 3150 Hz, y preferiblemente desde 50 Hz hasta 5000 Hz (tercios de octava).
 - Se debe generar un campo sonoro estacionario (ruido rosa) con un espectro continuo en el rango de frecuencias considerado.
 - Las diferencias locales en todas las bandas de frecuencia de interés deben ser inferiores a 5 dB.
 - El nivel del ruido de fondo debería ser, como mínimo 6 dB, y preferiblemente 10 dB, inferior al nivel de la señal y el ruido de fondo combinados. En caso contrario se deberán aplicar correcciones.

- **Medición de aislamiento de elemento de fachada con altavoz.**

Se mide el nivel de presión mediante un único sonómetro situado sucesivamente en cada posición, o mediante un conjunto de micrófonos fijos, o mediante un micrófono en movimiento continuo u oscilante. Posteriormente los diferentes niveles de presión sonora obtenidos se deben promediar para todas las posiciones del micrófono. Además hay que determinar el nivel del ruido de fondo.

En cada recinto en el que se evalúe su fachada se debe usar cinco posiciones de micrófono como mínimo para obtener el nivel de presión sonora media. Estas

posiciones han de distribuirse uniformemente en el máximo espacio permitido dentro del local.

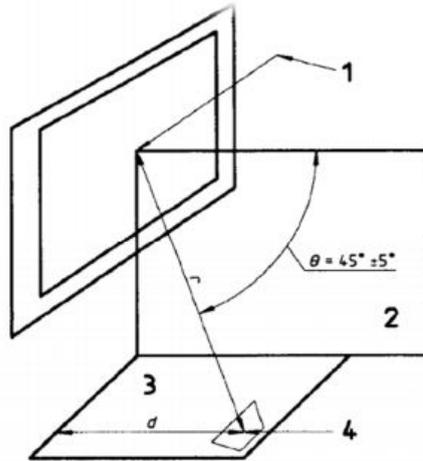


Figura 1. Planteamiento ubicación fuente y micrófono de fachada.

donde

- 1.- Normal a la fachada;
- 2.- Plano vertical;
- 3.- Plano horizontal;
- 4.- Altavoz.

Posición altavoz.

- El altavoz se instala en una o más posiciones fuera del edificio a una distancia de la fachada, con el ángulo de incidencia sonora igual a $(45 \pm 5^\circ)$.
- La distancia r [fig.1] desde la fuente sonora al centro de la muestra debe ser como mínimo de 5 m.

Posición micrófono, valores mínimos.

- 0.7 m entre posiciones de sonómetro
- 0.5 m entre cualquier posición del sonómetro y los bordes del recinto
- 1 m entre cualquier posición del sonómetro y la fuente sonora.

3.1.3 UNE-EN ISO 140-7

Normas para la medición in situ del aislamiento a ruido de impactos de suelos de edificios mediante el uso de una máquina de impactos normalizada.

Para los fines de esta parte de la Norma ISO 140, se aplican las definiciones dadas en la Norma ISO 140-4.

- **Equipo**

- Idem ISO 140-4



- **Proceso y evaluación del ensayo**

- Las medidas in situ del aislamiento a ruido de impactos de suelos deberán hacerse en tercios de octava a menos que antes se haya convenido realizar las mediciones en bandas de octava.
- El ruido de impactos deberá ser generado por una máquina homologada con 5 martillos situados en línea, la distancia entre los ejes de los martillos vecinos deberá ser de (100 ± 3) mm.
- Los soportes deberán estar equipados con pies aislantes de vibraciones.
- La parte del martillo que golpea el suelo deberá ser cilíndrica y golpear perpendicularmente la superficie de ensayo con un margen de $\pm 0.5^\circ$.
- Al arrancar la máquina las mediciones pueden mostrar una dependencia temporal al comenzar medir. En este caso, las medidas no deberían comenzar hasta que el nivel de ruido se haga estacionario.

- **Medición del nivel de ruido de impactos**

Se mide el nivel de presión de ruido de impacto mediante un único sonómetro situado sucesivamente en cada posición, o mediante un conjunto de micrófonos fijos, o mediante un micrófono en movimiento continuo u oscilante. Posteriormente los diferentes niveles de presión sonora obtenidos se deben promediar para todas las posiciones del micrófono.

El número mínimo de medidas en el recinto inferior utilizando un micrófono fijo es 6, y deberá utilizarse una combinación de al menos 4 posiciones de micrófono y al menos de 4 posiciones de la máquina de impactos.

Posiciones Máquina de Impactos.

- La máquina de impactos a de posicionarse en al menos 4 posiciones distintas de manera aleatoria en el suelo que se esté evaluando.
- En el caso de suelos anisótropos, es decir, que las propiedades del suelo en un mismo recinto sean diferentes (con nervaduras, vigas, etc.), puede ser necesario tomar más posiciones.
- La distancia que separe a la máquina con los bordes del suelo ha de ser como mínimo de 0.5 m.
- La máquina se ha de posicionar de tal manera que la línea de los martillos formen un ángulo de 45° con la dirección de las nervaduras o las vigas.

Posiciones de micrófono.

- 0.7 entre posiciones de sonómetro.
- 0.5 entre cualquier posición del sonómetro y los bordes del recinto.
- 1 metro entre cualquier posición del sonómetro y el suelo que está siendo excitado por la máquina de impactos.



3.2 Metodología mediciones in situ

Aislamiento a ruido aéreo entre locales.

Para la valoración del aislamiento acústico de sonido aéreo tanto de elemento horizontal como vertical se han tenido que conseguir in situ los datos de la ecuación (1.2) de diferencia de niveles estandarizada tal y como marca la Norma ISO 140-4.

- **Diferencia de niveles, D:** es la diferencia de los niveles de presión sonora producidos en el recinto emisor y receptor, su valor se da en dB.

$$D = L_1 - L_2 \quad (1.1)$$

donde

L1 es el nivel medio de presión sonora en el recinto emisor

L2 es el nivel medio de presión sonora en el recinto receptor

- **Diferencia de niveles estandarizada, $D_n T$:** Es la diferencia de niveles, correspondiente a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el recinto receptor.

$$D_n T = D + 10 \times \log(T/T_0) \quad (1.2)$$

donde

D es la diferencia de niveles;

T es el tiempo de reverberación en el recinto receptor;

T₀ es tiempo de reverberación de referencia; para viviendas, T₀ = 0.5 s.

Procedimiento

Como señala la Norma ISO 140-4 para las mediciones in situ hemos empezado verificando el correcto funcionamiento de todos los equipos y en el caso del sonómetro lo hemos hecho con un calibrador CESVA CB-6 que al pulsar un botón genera una presión acústica de 94 dB a 1 kHz, con el sonómetro se mide que sea así.

Para la obtención de los diferentes niveles de presión sonora (L₁ y L₂) y tiempo de reverberación se ha utilizado un sonómetro integrador, modelo SC-420 de la marca catalana CESVA, que cumple con los requerimientos para instrumentos de tipo 1 establecidos por la Comisión Electrotécnica Internacional.

Mientras que para la generación de ruido la empresa cuenta con un amplificador modelo AP601 y un altavoz omnidireccional modelo BP012 que es un conjunto de 12 altavoces montados en un bafle dodecaédrico que garantiza una emisión omnidireccional, ambos equipos son de la marca CESVA.

Una vez realizada la comprobación de estos instrumentos se empieza con la obtención del nivel de presión sonora del recinto emisor (L₁). Para ello, posicionamos la fuente en este recinto



respetando las distancias mínimas con las paredes, suelos, techos y todo elemento que pueda influir en nuestras mediciones. El ruido producido es ruido rosa.

En este tipo de mediciones acústicas el ruido rosa es muy utilizada y es que las ventajas saltan a la vista, la principal es que todas las bandas de octava dentro del rango de emisión producido por la fuente de presión tienen el mismo nivel sonoro, de ahí que a este ruido de alta densidad espectral se le conozca con el nombre de “sonido plano”.

En el recinto emisor colocamos el altavoz en dos posiciones diferentes: F1 y F2, para cada una de ellas se toman cinco mediciones diferentes de diez segundos y tras realizar un promedio espacial se obtiene el nivel medio de presión sonora en el recinto emisor (L1).

Para medir el nivel de presión sonora en el recinto receptor nos trasladamos con el sonómetro a la otra habitación y con el altavoz en el recinto emisor en las mismas posiciones F1 y F2 procedemos a tomar cinco medidas en diferentes puntos para cada una de ellas, con estos datos obtenemos (L2).

Tiempo de reverberación.

Para las medidas de tiempo de reverberación, se ha utilizado el método de la respuesta impulsiva integrada, utilizando tres puntos espaciados en el recinto receptor mediante la generación de un sonido impulsivo de banda amplia.

En DEKRA se ha opta por la utilización de globos para la obtención de este sonido impulsivo y es que su explosión contiene energía en un rango amplio de frecuencias.

Ruido de fondo.

Se realizan mediciones del ruido de fondo para asegurar que los datos obtenidos en el recinto receptor no estén afectadas por sonidos ajenos, tales como ruidos provenientes del exterior.

El ruido de fondo se debe comprobar que es como mínimo 6 dB y preferiblemente 10 dB, inferior al nivel de presión sonora de la señal y del ruido de fondo combinados, si el nivel es inferior a 10 dB pero mayor a 6 dB, hay que calcular las correlaciones a la señal.

$$L = 10 \lg(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad (1.3)$$

donde

L es el nivel de presión sonora corregido de la señal, en decibelios;

L_{sb} es el nivel de presión sonora de la señal y el ruido de fondo combinados, en decibelios;

L_0 es el nivel de ruido de fondo, en decibelios.

Si la diferencia es igual o menor que 6dB se usa la corrección 1.3 dB que corresponde a una diferencia de 6 dB, en este caso habría que indicarlo en el informe final.

Aislamiento a ruido aéreo de elementos de fachada

Para la valoración del aislamiento acústico de sonido aéreo de elementos de fachada se han tenido que conseguir in situ los datos de la ecuación (2.2) de diferencia de niveles estandarizada. tal y como marca la Norma ISO 140-5.

- **Diferencia de niveles, D_{2m}** : Es la diferencia, en decibelios, entre el nivel de presión sonora exterior a 2 metros frente la fachada, $L_{1,2m}$, y el nivel de presión sonora medido en el recinto receptor.

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad (2.1)$$

- **Diferencia de niveles estandarizada, $D_{2m,nt}$** : Es la diferencia de nivel de presión sonora, en decibelios, correspondiente a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el local de recepción, donde $T_0 = 0.5$ s.

$$D_{1s,2m,nt} = D + 10 \times \log(T/T_0) \quad (2.2)$$

La notación '1s' viene de 'loudspeaker' que significa altavoz en inglés y es que hay aclarar que la fuente sonora no es el sonido de tráfico, que es método totalmente diferente que tiene como requisito la pasada por enfrente de la fachada de al menos 50 vehículos, algo que dependiendo del distrito puede durar horas, de ahí que el método del altavoz sea el más rápido y habitual.

Como se ha mencionado, la obtención de L_1 se realiza a 2 metros de distancia de cada una de las fachadas a evaluar, para ello, como marca la Norma ISO 140-5 se coloca la fuente sonora con un ángulo de incidencia sonora igual a 45° , con un margen de 5° de error. La fuente con la que contamos es una altavoz direccional modelo JBL y al igual que para el aislamiento aéreo ésta estará conectado a la fuente de presión que genera un ruido rosa entre 50 Hz y 5 kHz. El otro requisito del ruido es que tiene que exceder como mínimo 6 dB al ruido de fondo.

Para la medición de L_2 la distancia mínima que tiene que haber entre altavoz y el centro de la muestra que se está evaluando son 5 metros y en el interior de estos locales se toman 5 medidas de 10 segundos cada una.

Finalmente, se procede a la medición de ruido de fondo y el tiempo de reverberación en el recinto receptor tal y como se explicó para el caso de aislamiento al ruido aéreo entre locales.

Aislamiento al ruido de impactos

Para la valoración del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos se han tenido que conseguir in situ los datos de la ecuación (3.1) de diferencia de nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, tal y como marca la Norma ISO 140-7.

- Nivel de presión de ruido de impactos, L_i : Es el nivel de presión sonora medio de un tercio de octava en la sala receptora cuando el suelo a evaluar es excitado por la máquina de impactos normalizada, se expresa en decibelios
- Nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, L'_{nT} : Es el nivel de presión de ruido de impactos L_i reducido mediante un término de corrección, dado en decibelios, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el tiempo de reverberación medido en el recinto receptor y el tiempo de reverberación de referencia T_0 ; se expresa en decibelios.

$$L'_{nT} = L_i - 10 \lg(T/T_0) \quad (3.1)$$

Para viviendas T_0 es igual a 0.5 segundos.

Para la obtención del nivel de presión sonora de impactos DEKRA cuenta con una máquina de impactos modelo MI005 de la marca CESVA. Pese a contar con un mando a distancia para

iniciar la máquina uno de los dos técnicos se encuentra todo el tiempo en el recinto emisor con el fin de posicionar la máquina correctamente en las cuatro posiciones (como mínimo) que nos marca la Norma ISO 140-7.

Finalmente, se procede a la medición de ruido de fondo y el tiempo de reverberación en el recinto receptor tal y como se explicó para el caso de aislamiento al ruido aéreo entre locales.

3.3 Equipo de trabajo

| Equipo | Modelo | Características principales | Fotografía |
|------------------------|-------------------------|---|---|
| Sonómetro [8] | CESVA SC-420 | <ul style="list-style-type: none"> - Sonómetro integrador homologado clase 1 - Analizador en 1/1 octavas, 1/3 octavas - Tiempo de reverberación impulsivo e interrumpido - Análisis FFT incorporado |  |
| Calibrador [9] | CESVA CB-6 | <ul style="list-style-type: none"> - Verificación de equipos Clase 1 y Clase 2 - Cualquier tipo de ponderación (A,B,C,D o Z) - Nivel de Presión Acústica de 94 dB con 1 kHz como frecuencia de verificación |  |
| Anemómetro [10] | TESTO 410-2 | <ul style="list-style-type: none"> - Medición de la temperatura, velocidad del aire y nivel de humedad - Promediado temporal incluido |  |

| | | | |
|--|----------------------|---|---|
| <p>Distanciómetro [11]</p> | <p>TROTEC</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Alcance de 0.05 - 70 metros - Sensor de inclinación de 90° integrado |  |
| <p>Fuente [12]</p> | <p>AP601</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Generador de ruido blanco, rosa y rosa filtrado, bandas de 1/3 de octava 50-5000 Hz. - Diseñado especialmente para generar la señal a reproducir por el altavoz BP012 - Protección por sobrecarga, clip y térmica. - Sistema de refrigeración con apagado automático del ventilador. |  |
| <p>Altavoz omnidireccional [13]</p> | <p>BP012</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Diagrama de radiación omnidireccional - Nivel de potencia sonora: 123 dB - Funcionamiento indefinido durante una hora. |  |
| <p>Máquina de impactos [14]</p> | <p>MI005</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Dispone de 5 martillos alineados de 500 g cada uno. - Distancia martillo-suelo: 4 cm. - Tiempo medio entre impactos es de 100 ms. - La unidad de apoya en 3 pies de goma para aislarla de las vibraciones |  |

| | | | |
|---------------------------------------|---------------------------|---|---|
| <p>Fuente direccional [15]</p> | <p>JBL PRX812W</p> | <p>- Respuesta de frecuencia 55 Hz - 18.22 kHz - Potencia 1500 W.</p> |  |
|---------------------------------------|---------------------------|---|---|

Tabla 2. Listado de equipos de medición.

3.4 Metodología simulaciones

El estudio teórico previo tiene el fin de establecer los fundamentos de este TFG y sirve como antesala del análisis de datos y exposición de conclusiones ya que se considera de gran importancia el acompañar los cálculos con su respectiva base teórica. Por todo ello se realizaron una serie de simulaciones con la herramienta de cálculo del DB-HR, software desarrollado por el Ministerio de Fomento que permite verificar el cumplimiento de varios casos frecuentes de aislamiento acústico a través de la introducción de parámetros de las diferentes superficies y la composición de los elementos de construcción. Con este software que es de uso libre y gratuito se pretendía obtener una previsualización de los posibles datos que se obtendrían por el sonómetro una vez tomáramos las mediciones in situ.

En este apartado se pretende mostrar la metodología seguida en los diferentes tipos de simulaciones realizadas con esta herramienta y además ofrecer una guía de inicio rápido que sea útil para aquellas personas que no estén familiarizadas con la herramienta y puedan trabajar con ésta de manera inmediata conociendo los aspectos básicos de acústica así como los planos de la edificación en los que constan todos sus características de construcción.

- Base de Datos

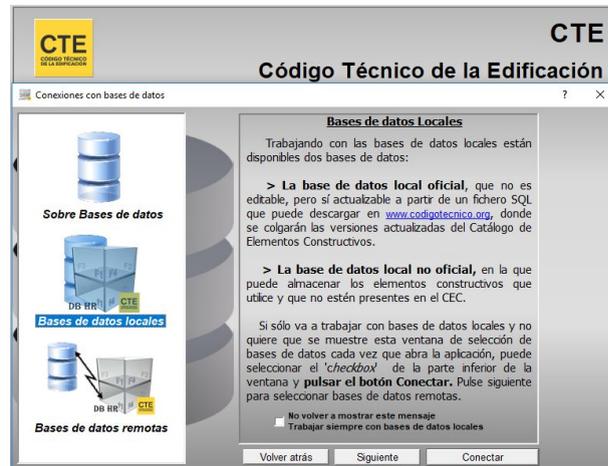


Figura 2. Ventana de conexión a base de datos.

Nada más abrir la herramienta por primera vez, ésta nos pedirá que indiquemos qué tipo de base de datos de elementos constructivos queremos utilizar en nuestro proyecto, el programa permite trabajar con diferentes base de datos simultáneamente.

En este proyecto se han trabajado con dos, las base de datos local, tanto oficial como no oficial. En la base de datos oficial tenemos una gran lista de los diferentes elementos de construcción y sus respectivos parámetros, por lo que en aquellos casos en los que tengamos que simular un recinto con un elemento estandarizado simplemente habrá que buscarlo en la lista. Sin embargo, en aquellos casos en los que esto no sea posible, es decir, dispongamos de elementos que no consten en el Catálogo de Elementos Constructivos (CEC), tenemos la posibilidad de introducir los parámetros de éstos en la base de datos no oficial y así utilizarlos posteriormente

Las bases de datos remotas aunque no se hayan utilizado en este trabajo final de carrera está bien destacar su principal característica que como su nombre indica, es permitir la comunicación entre varias bases de datos y por ende usuarios, con el fin de compartir sus elementos y trabajar simultáneamente.

- Creación de nuevo proyecto



Figura 3. Plano planta altillo y habitaciones H1

Una vez hayamos seleccionado la base de datos que más se ajusta a nuestras necesidades lo que tenemos que hacer a continuación es abrir o crear un nuevo proyecto, a modo de ejemplo vamos a llevar a cabo la simulación de un caso real cómo es el de un aislamiento aéreo del elemento vertical que separa las habitaciones H1 de las plantas de los altillos que se presentan en la figura 3 y figura 7.

Cuando comenzamos se nos pide como en cualquier programa el nombre de nuestro proyecto y el directorio en el que lo queremos guardar, esta herramienta además nos solicita que seleccionemos entre tres tipos diferentes de elemento de construcción, cuya diferencia reside en los componentes que los forman.

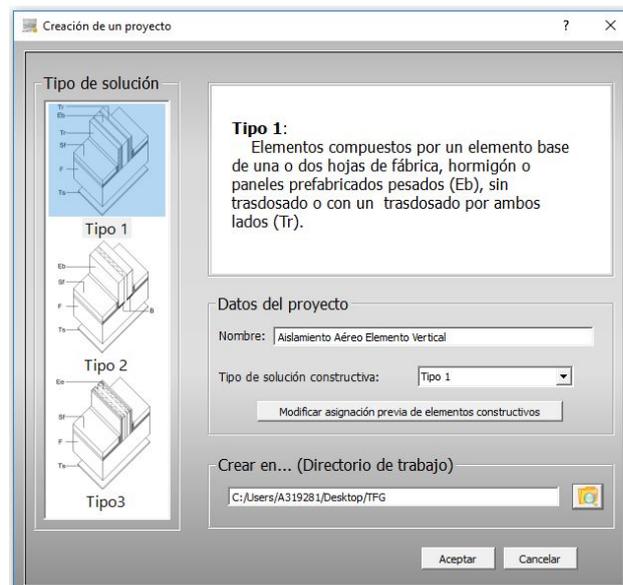
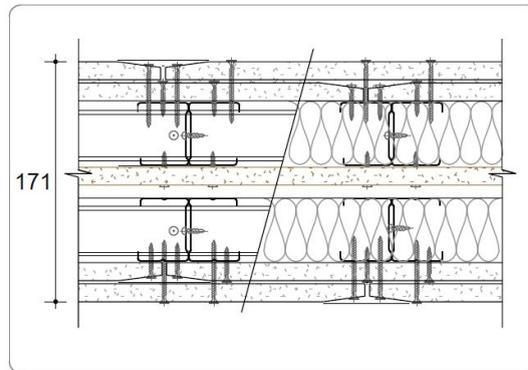


Figura 4. Ventana de creación de proyecto.

- Tipo 1: Elementos compuestos por un elemento base de una o dos hojas de fábrica, hormigón o paneles prefabricados pesados, sin trasdosado o con un trasdosado por ambos lados.
- Tipo 2: Elementos de dos hojas de fábrica o paneles prefabricados pesados, con bandas elásticas en su perímetro dispuestas en los encuentros de al menos, una de las hojas con forjados, suelos, techos, pilares y fachadas.
- Tipo 3: Elementos de dos hojas de entramado autoportante.

Gracias al apartado de tipologías de muros que viene en los planos de la constructora conocemos las características del muro que separa ambas habitaciones H1.

E7



Envà placa de guix laminat, EI60 171/400
15+15/48(LR)/15(I)/48(LR)/15+15

Figura 5. Segmentación del muro E7.

En la imagen podemos observar que el tabique que separa ambos recintos recibe el nombre de E7 en el proyecto de la constructora, también podemos observar su composición interna:

Tabique de placa de yeso laminado, EI60 171/400 15+15/48 (LR)/15(I)/48(LR)/15+15

Donde:

- **EI60:** Indica la resistencia al fuego y al calor del elemento, en minutos.
E (integridad), establece el tiempo mínimo para el cual el elemento es capaz de mantenerse como barrera al paso del fuego y los gases.
I (aislamiento), indica el tiempo durante el cual un elemento es capaz de mantenerse como barrera al paso del calor.
De esto se puede concluir que en caso de incendio el tabique debería bloquear durante al menos 60 minutos el fuego de un recinto a otro.
- **171/400:**
171, es el ancho del elemento en milímetros.
400, es la distancia en milímetros que existe entre los montantes verticales que sirven como unión del tabique a lo largo de toda la pared.
- **15:** es el espesor de cada placa de yeso laminado.
- **15 (I):** es el espesor de la placa de yeso laminado del interior del tabique.
- **48 (LR):** espesor del aislante térmico, lana de roca.

Entendiendo las características del elemento podemos deducir el elemento a evaluar corresponde al tipo de solución 1 ya que se trata de un elemento prefabricado pesado sin bandas elásticas.

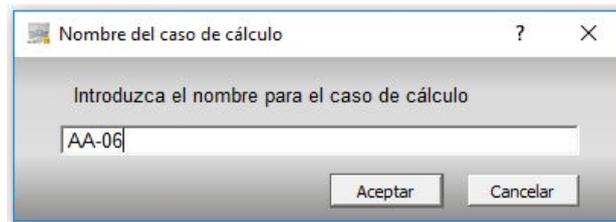


Figura 6. Ventana de introducción de nombre caso de cálculo.

Seguidamente introducimos el nombre AA-06 que hace referencia al ensayo de Aislamiento Aéreo Número 6.

- **Planteamiento del caso:**

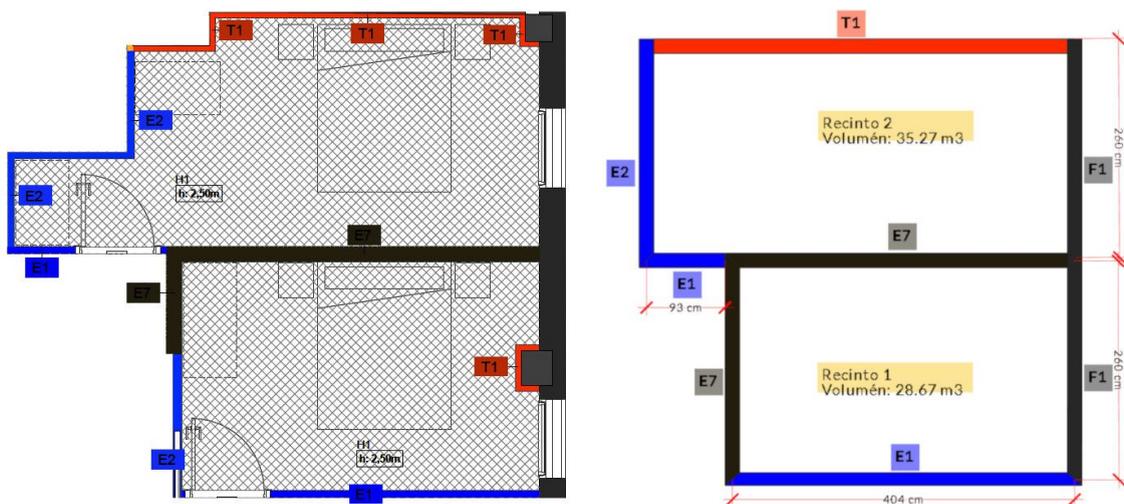


Figura 7. Plano real habitaciones H1 altillo | Adaptación de plano para DB-HR.

Elemento separador: como hemos señalado anteriormente se evaluará el elemento de separación vertical (E7) entre las habitaciones H1 de los altillos del edificio.

El resto de las limitaciones de los recintos se desglosan de la misma manera, se extraen los materiales del apartado de tipologías de elementos que se incluye en los planos de la constructora.

Materiales recinto 1:

Suelo: Forjado reticular de piezas de entrevigado de hormigón de 300 mm, con un revestimiento de mortero de 50 mm, aislante ruido de impactos de lana mineral de espesor de 20 mm y acabado cerámico.

Techo: Forjado reticular de piezas de entrevigado de hormigón de 300 mm, con un revestimiento de placa de yeso laminado y cámara de aire de espesor mayor que 150 mm.

Fachada: Ladrillo cerámico de 240 mm con revestimiento exterior continuo, cámara de aire, aislante térmico y placa de yeso laminado de 15 mm.

Pared (E1): 48 mm de lana de roca, con revestimiento por ambas caras de placa de yeso laminado de 15 mm.

Materiales recinto 2:

Suelo: Idem que recinto 1.

Techo: Idem que recinto 1.

Fachada: Idem que recinto 1.

Pared (T1): pared recinto de al lado con trasdosado de lana de roca de 48 mm y placa de yeso laminado de 15 mm.

Pared (E2): 48 mm de lana de roca, con revestimiento por ambas caras de placa de yeso laminado de 15 mm.

Uniones:

Elemento - Suelo: Unión rígida en + de elementos homogéneos.

Elemento - Techo: Unión rígida en + de elementos homogéneos.

Elemento - Pared: Unión rígida en + de elementos homogéneos.

Elemento - Pared: Unión rígida en T de elementos homogéneos.

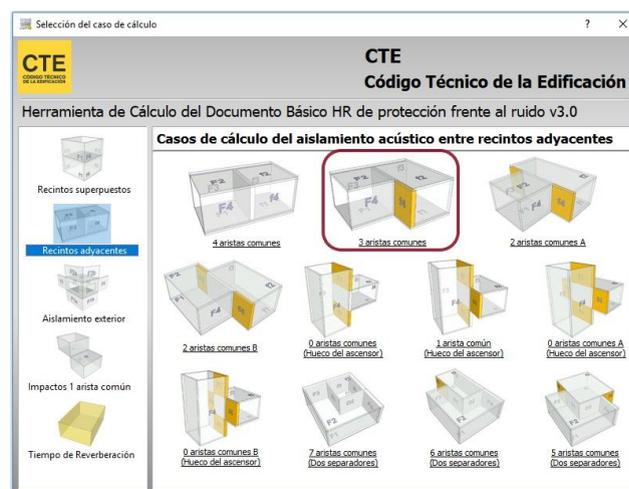


Figura 8. Ventana selección tipo caso de cálculo.

En el listado de la parte derecha de la figura 8 podemos observar los tipos de casos de cálculo que podemos simular con la herramienta de cálculo del DB-HR.

Para este caso en específico hemos de seleccionar de la lista de la derecha el ítem **Recintos adyacentes** puesto que se está simulando el aislamiento acústico del elemento vertical que separa ambos recintos.

De manera similar, tenemos que elegir el tipo de limitación que tienen las dos habitaciones, en este caso, como se puede observar en la figura 7, se trata de un aislamiento acústico entre dos recintos que comparten 3 aristas comunes.

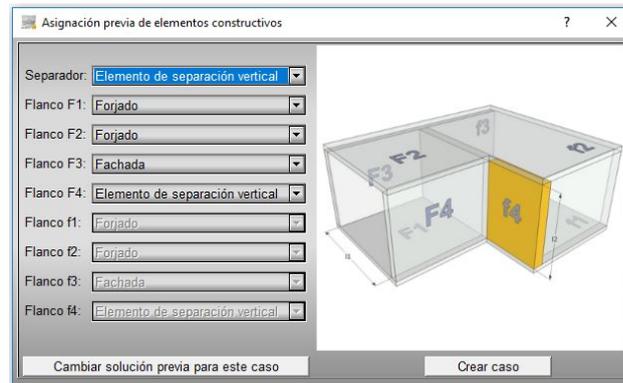


Figura 9. Ventana de asignación de elementos constructivos.

En la figura 9 se muestra la ventana en la que hay que asignar el tipo de elemento a cada flanco de la representación que nos ofrece la herramienta.

Esta herramienta tiene varias limitaciones importantes que se espera que en un futuro se subsanen, una de ellas es que solo se puede trabajar con recintos en forma de hexaedros, por ende, toda habitación que tenga una forma que no sea ésta, tendrá que ser adaptada.

Otra de estas limitaciones viene a la hora de concretar los límites de un elemento, por ejemplo, en el caso de que una arista posea diferentes tipos de muros o más de una variante en su interior en la mayoría de casos se tiene que optar por una de ellas, esto es muy importante puesto que cada material tiene un coeficiente de absorción distinto. En este caso, por criterio técnico se ha de decantar por aquel elemento que más superficie cubra a lo largo de la arista en cuestión.

Todas estas modificaciones tienen como base general el no modificar la superficie de ningún recinto.

- **Introducción de parámetros**

CTE Documento básico HR protección frente a ruido

Cálculo conjunto del Aislamiento Acústico a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores. Recintos adyacentes con 3 aristas comunes.

Datos de entrada

Elemento separador

Superficie S_s (m²) 11.03

| Elemento constructivo base | m'_i (kg/m ²) | $R_{i,A}$ | Revestimiento recinto 1 | $\Delta R_{0,A}$ | Revestimiento recinto 2 | $\Delta R_{0,A}$ |
|---|-----------------------------|-----------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | 66.2 | 60.3 | Sin Trasdosados | - | Sin Trasdosados | - |

Ventanas, puertas y lucernarios

| S (m ²) | R_A |
|---------------------|-------|
| 0 | 0 |

Transmisión aérea $D_{0,e,A}$

| Directa | Indirecta |
|-------------|-------------|
| $D_{0,e,A}$ | $D_{0,e,A}$ |
| 0 | 0 |

| $D_{nT,A}$ | Requisito CTE | $L'_{nT,w}$ | Requisito CTE |
|------------|---------------|-------------|---------------|
| 58 | 50 CUMPLE | 34 | 65 CUMPLE |
| 57 | 50 CUMPLE | 34 | 65 CUMPLE |

Figura 10. Datos de entrada elemento separador.

En la primera casilla se introduce la superficie en metros cuadrados del elemento separador: E7.

En el apartado de revestimientos del elemento separador también podemos introducir su revestimiento en el caso de que lo haya. En nuestro caso no hay más revestimiento que el que ya incluye el muro E7 por lo que se elegirá en ambos recintos la opción “Sin Trasdosados”

A la hora de seleccionar el tipo de **elemento constructivo base** hemos de escoger uno de los que se nos presenta en el Catálogo de Elementos Constructivos (CEC) [15] del Código Técnico de Edificación [16].

Sin embargo, nuestra partición E7 en concreto no constaba en la base de datos, de ahí surge la necesidad de utilizar una base de datos no oficial (base de datos editable).

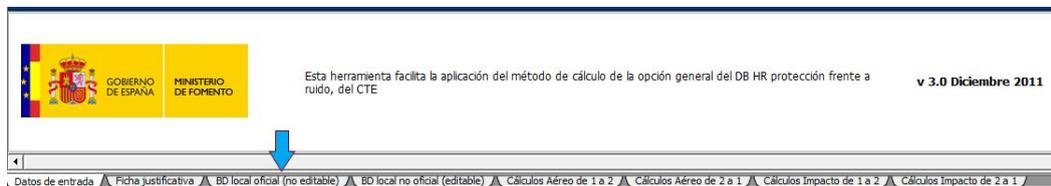


Figura 11. Pestaña para acceder a la base de datos no oficial.

Una vez seleccionamos la opción que se encuentra en el pie de la interfaz habrá que introducir los diferentes parámetros como se muestra a continuación.

Código identificativo: E7

Subtipo: De entramado

Tipo de particiones: Vertical

Descriptor: YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15

| | Conjunto | Elemento base | Hoja menor |
|---|----------|---------------|------------|
| Masa de los distintos elementos que componen la partición [Kg/m ²] | 66.2 | - | - |
| Índice global de reducción acústica, ponderado A, R _A [dBA] | 60.3 | - | - |
| Índice global de reducción acústica a ruido de automóviles, R _{A,tr} [dBA] | 52 | - | - |
| Mejora del índice global de reducción acústica de la hoja menor de la partición, ponderada A, ΔR _A [dBA] | - | - | - |
| Mejora del índice global de reducción acústica a ruido de automóviles (ponderada A) ΔR _{A,tr} [dBA] | - | - | - |

Fuente: ATEDY (Asociación técnica y empresarial del yeso)

Guardar Cancelar

Figura 12. Ventana introducción elementos constructivos.

Código Identificativo: Es el nombre con el que guardaremos nuestra nueva partición.

Subtipo: Podemos seleccionar entre: una hoja, dos hojas, dos hojas con banda o entramado, como nuestra partición es un conjunto de elementos que compone todo el muro seleccionamos esta última opción.

Tipo de partición: Se a de poner el tipo de elemento que estamos evaluando, en nuestro caso se trata de un elemento vertical.

Kg/m^2 : masa del elemento por metro cuadrado.

$R_A[dBA]$: Índice global de reducción acústica ponderado A.

$R_{A,tr}[dBA]$: índice global de reducción acústica a ruido de automóviles.

Ninguna de las dos mejoras de índice global son relevantes para este cálculo ya que no estamos evaluando un elemento en su conjunto, sin hojas de por medio y tampoco se está evaluando el aislamiento frente a ruido de automóviles, de hecho, se podría omitir el $R_{A,tr}$ también en esta ventana.

Fuente: Es recomendable hacer referencia a la fuente de dónde se han sacado los parámetros introducidos. Para el caso del elemento E7, los parámetros han sido en la base de datos de la Asociación Técnica y Empresarial del Yeso (ATEDY) [16].

Finalmente guardamos los datos introducidos.

| Todas | | Particiones | | | | | |
|--------|--|-------------|----|------|---|---|---|
| P4.7 | (perfiles arriostrados) | 65 | 59 | 55 | - | - | - |
| P4.8 | YL 2x12,5 + AT MW 70 + SP + AT MW 70 + YL 2x12,5 (perfiles libres) | 67 | 61 | 54 | - | - | - |
| P4.9 | YL 2x15 + AT MW 70 + YL 12,5 + SP + AT MW 70 + YL 2x15 (perfiles arriostrados) | 65 | 59 | 65 | - | - | - |
| P1.Reh | Enl 15 + LH 40 + Enl 15 | 34 | 31 | 70 | - | - | - |
| P2.Reh | Enl 15 + LM 115 + Enl 15 | 51 | 48 | 290 | - | - | - |
| P3.Reh | Enl 15 + LM 240 + Enl 15 | 61 | 58 | 544 | - | - | - |
| P4.Reh | Enl 15 + LP (240+115) + Enl 15 | 53 | 50 | 402 | - | - | - |
| P5.Reh | Enl 15 + LH 70 + C + LH 70 + Enl 15 | 46 | 43 | 148 | - | - | - |
| E7 | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | 60.3 | 52 | 66.2 | - | - | - |

Figura 13. Ventana de selección de elementos constructivos de la base de datos.

Ahora cuando abramos el catálogo de elementos, ya podemos encontrar en la base de datos la nueva partición que hemos introducido con el nombre de E7.

| Ventanas, puertas y lucernarios | | Transmisión aérea $D_{n,si,A}$ | |
|---------------------------------|-------|--------------------------------|-----------------------|
| S (m ²) | R_A | Directa $D_{n,e,A}$ | Indirecta $D_{n,s,A}$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 14. Ventana de selección de elementos constructivos de la base de datos.

En el caso que en el elemento de separación vertical hubiesen puertas, ventanas o lucernarios también lo podemos incluir en nuestra simulación añadiendo la superficie en metros cuadrados y su correspondiente índice de reducción acústica.

De la misma manera si hubiesen pasillos o conductos de algún tipo se debería introducir los datos correspondientes a la transmisión aérea entre ambos recintos.

La herramienta ya nos dice que tanto para el índice global de reducción acústica de “ventanas, puertas y lucernarios” como para las diferencias de niveles normalizadas para transmisiones

aéreas, un valor 0 no implica un aislamiento nulo. En estos casos el valor 0 es tratado por la aplicación como un código especial que implica una transmisión nula por esa vía.

Recinto 1

| Recinto 1 | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|---|-------------------------|------------------|------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------------|------------------|---|------------------|------------------|--|---------------------------------|
| Tipo de recinto como emisor | | Tipo de recinto como receptor | | | | | | | | | | | | Volumen V_1 (m ³) |
| Unidad de uso | | Protegido | | | | | | | | | | | | 28.67 |
| Elemento | Tipo | Elemento constructivo base | m' (kg/m ²) | R _{f,A} | L _{n,w} | S _i (m ²) | l _r (m) | Como Flanco | | Revestimiento | $\Delta R_{0,A}$ | $\Delta L_{0,w}$ | | |
| | | | | | | | | m' (kg/m ²) | R _{f,A} | | | | | |
| Elemento F1 (Suelo) | | R_BH 300 mm | 385 | 56 | 73 | 10.5 | 4.04 | 385 | 56 | AC + M 50 + AR MW20 | 6 | 30 | | |
| Elemento F2 (Techo) | | R_BH 300 mm | 385 | 56 | 73 | 10.5 | 4.04 | 385 | 56 | YL 15 + C [ρ=100] (forjado de m = 350 kg/m ²) | 5 | 5 | | |
| Elemento F3 (Pared) | | RE + LP 240 + SP + AT + YL 15 (valores mínimos) | 292 | 61 | | 7.1 | 2.73 | 281 | 52 | Trasdosado de la hoja interior de la fachada. | 9 | - | | |
| Elemento F4 (Pared) | | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | 66.2 | 60.3 | | 7.1 | 2.73 | 66.2 | 60.3 | Sin Trasdosados | - | - | | |

Figura 15. Datos de entrada recinto 1.

En este apartado tenemos que rellenar cuatro bloques diferentes que están vinculados al que hemos designado como recinto 1.

- **Tipo de recintos:** es importante conocer de antemano qué función van a tener las habitaciones que conforman una edificación para que así la herramienta pueda fijar los requerimientos de aislamiento aplicables según el tipo de recinto.
- **Volumen,** en metros cúbicos.
- **Elementos constructivos base:** al igual que con el elemento separador aquí es necesario seleccionar los materiales que componen cada uno de los flancos del recinto 1 de la base de datos del CTE o en su defecto introducirlos en la base de datos no oficial del programa.
- **Revestimiento:** en caso de haberlos se procede a seleccionarlos.

Las superficies de cada flanco como las longitudes de las aristas comunes con el elemento separador se han de introducir en las casillas.

Recinto 2

| Recinto 2 | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|---|-------------------------|------------------|------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------------|------------------|---|------------------|------------------|--|---------------------------------|
| Tipo de recinto como emisor | | Tipo de recinto como receptor | | | | | | | | | | | | Volumen V_2 (m ³) |
| Unidad de uso | | Protegido | | | | | | | | | | | | 35.27 |
| Elemento | Tipo | Elemento constructivo base | m' (kg/m ²) | R _{f,A} | L _{n,w} | S _i (m ²) | l _r (m) | Como Flanco | | Revestimiento | $\Delta R_{0,A}$ | $\Delta L_{0,w}$ | | |
| | | | | | | | | m' (kg/m ²) | R _{f,A} | | | | | |
| Elemento f1 (Suelo) | | R_BH 300 mm | 385 | 56 | 73 | 12.92 | 4.04 | 385 | 56 | AC + M 50 + AR MW 20 | 6 | 30 | | |
| Elemento f2 (Techo) | | R_BH 300 mm | 385 | 56 | 73 | 12.92 | 4.04 | 385 | 56 | YL 15 + C [ρ=100] (forjado de m = 350 kg/m ²) | 5 | 5 | | |
| Elemento f3 (Pared) | | RE + LP 240 + SP + AT + YL 15 (valores mínimos) | 292 | 61 | | 7.1 | 2.73 | 281 | 52 | Trasdosado de la hoja interior de la fachada. | 9 | - | | |
| Elemento f4 (Pared) | | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | 66.2 | 60.3 | | 2.54 | 2.73 | 66.2 | 60.3 | Sin Trasdosados | - | - | | |

Figura 16. Datos de entrada recinto 2

- De la misma manera que para el recinto 1, se debe seleccionar los materiales de construcción así como rellenar las casillas con sus parámetros.

Datos a tener en cuenta:

- El recinto 1 actuará como unidad de uso cuando se emplee la habitación de emisor y como un recinto protegido si lo hace como receptor, ya que se trata de un recinto habitable, concretamente un dormitorio.
- Con los elementos constructivos base en este punto nos encontramos con una limitación y es que el programa asume que tanto el flanco f3 como f4 son prolongaciones de F3 y

el elemento separador respectivamente, algo que se cumple con f_3 , sin embargo, con f_4 no podemos cambiar de elemento ya que la opción está inhabilitada. En cuanto al techo y suelo como sus respectivos revestimientos son los mismos que los empleados en el recinto 1.

Uniones:

| Uniones de los Elementos Constructivos | | | | | | |
|--|--|---|----------|----------|------|------------------|
| Tipo de unión | | K_{Ff} | K_{Fd} | K_{Df} | | |
| Arista 1 (Unión Elemento-Suelo) | | Unión rígida en + de elementos homogéneos | -1 | 12 | 12 | Vista en sección |
| Arista 2 (Unión Elemento-Techo) | | Unión rígida en + de elementos homogéneos | -1 | 12 | 12 | Vista en sección |
| Arista 3 (Unión Elemento-Pared) | | Unión rígida en + de elementos homogéneos | 0.2 | 10.9 | 10.9 | Vista en planta |
| Arista 4 (Unión Elemento-Pared) | | Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 4) | 5.7 | 5.7 | 5.7 | Vista en planta |

Figura 17. Selección de uniones de los elementos constructivos.

Las uniones son muy importantes en este tipo de mediciones, sobre todo para los ensayos de impactos ya que es el punto de encuentro entre el elemento que se está evaluando y las diferentes superficies que limitan con este.

Al igual que con el caso de elementos, hemos de conocer de antemano cómo se han realizado las unificaciones entre elementos y seleccionar el tipo más adecuado según los índices de reducción de vibración: K_{Ff} , K_{Fd} , K_{Df} .

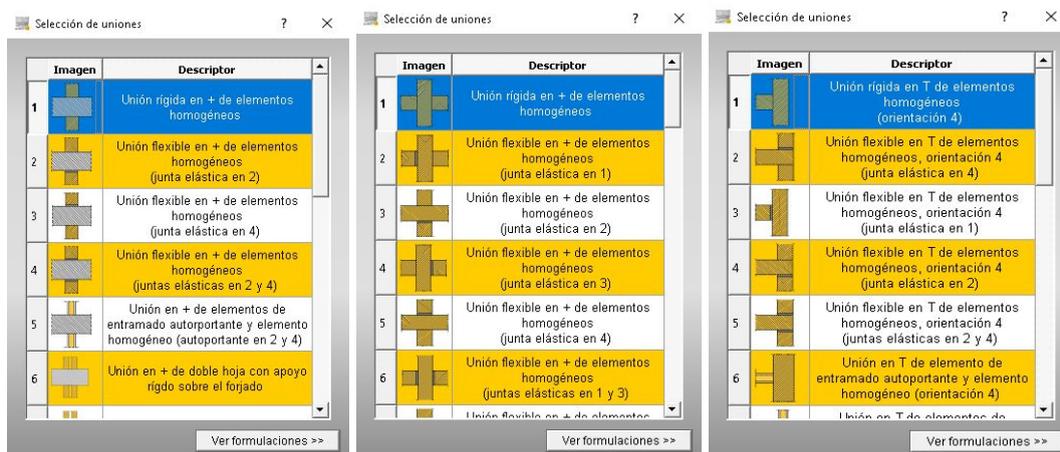


Figura 18. Selección de uniones de las diferentes aristas 1, 2, 3 y 4.

- Para la unión de todos los elementos de separación vertical con los techos y suelos en todos los pisos se han utilizado una unión rígida en + por ejemplo. De ahí que se haya seleccionado este acoplamiento para la unión de las aristas 1 (suelo) y 2 (techo) en nuestra simulación (primera ventana).
- Para la unión de la arista 3 que corresponde con la unión en la que se encuentran el elemento vertical y la fachada en la edificación se ha optado por una unión rígida en + sin juntas elásticas (segunda ventana).
- Para el acople de la arista 4 correspondiente al elemento de separación vertical con los dos recintos se utiliza una unión rígida en T de elementos homogéneos (tercera ventana).

Al igual que en el caso de elementos de construcción base, en el caso que no encontremos nuestras uniones en el CEC podemos añadir nuevas uniones en la base de datos no oficial.

Resultados del cálculo:

Estos resultados se pueden observar en la parte superior de la interfaz principal.

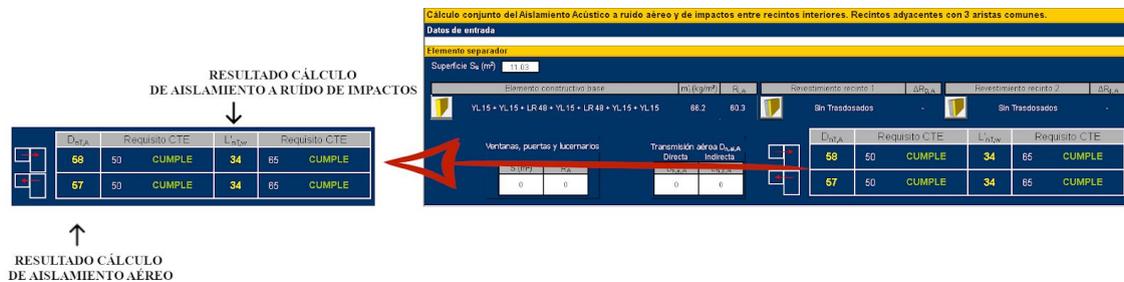


Figura 19. Casillas de resultados finales del aislamiento de elemento vertical E7.

En el apartado de resultados podemos ver que tenemos cuatro resultados. Por una parte se muestra la diferencia de nivel estandarizada entre las habitaciones H1 de la planta de los altillos y de manera adicional también se muestra el nivel de presión de ruido de impactos entre estas dos habitaciones.

Cómo se puede observar en la figura 19, los requisitos de ambos ensayos están junto a sus correspondientes resultados, estos límites se actualizan sistemáticamente si se cambia cualquiera de los tipos de recintos [fig. 15]. Estos requisitos son los que marca el CTE que es el marco normativo con el que se trabaja en Barcelona junto con el DB-HR.

Para el ensayo AA-06 el recinto emisor actúa como un recinto de unidad de uso y mientras que el receptor como un recinto protegido, de ahí que el software ya nos informe que el requisito son 50 decibelios, es decir, que el elemento en cuestión que se evalúa tiene que ser capaz de atenuar ese número de decibelios como mínimo.

Por otro lado el requisito CTE para aislamiento a ruido de impactos son 65 decibelios, sin embargo, a diferencia del requisito para los ensayos de aislamiento aéreo, este número señala el nivel de presión de ruido de impactos que no se ha de sobrepasar.

La herramienta nos advierte con un “CUMPLE” si la simulación ha salido favorable y en caso de que no lo sea, mostraría un “NO CUMPLE”

En relación a los resultados, con los de aislamiento de elemento vertical hemos obtenido 58 decibelios, esto si se utiliza la habitación de la vivienda 2 (recinto 1) como emisor y de la 1 (recinto 2) como receptor, mientras que el resultado es de 57 decibelios si queremos utilizar H1 de la vivienda 2 como receptor.

En comparación con el informe que se realiza con los datos obtenidos de las mediciones in situ podemos observar que hay una diferencia de 4 decibelios (54 dB), esta variación se justificará en el siguiente capítulo.

Capítulo 4. Comparación de simulaciones con resultados in situ.

4.1 Aislamiento aéreo de elemento de separación vertical.

En este primer apartado se analiza el aislamiento acústico al sonido aéreo de elementos de separación vertical entre recintos de unidades de uso diferente. Cabe recordar que se considera unidad de uso a la parte de un edificio que se destina a un uso específico y cuyos ocupantes están relacionados entre sí. En nuestro caso al tratarse de un edificio plurifamiliar las unidades de uso serán cada una de las viviendas que componen el bloque.

4.1.1 Aislamiento aéreo de elemento de separación vertical AA-06

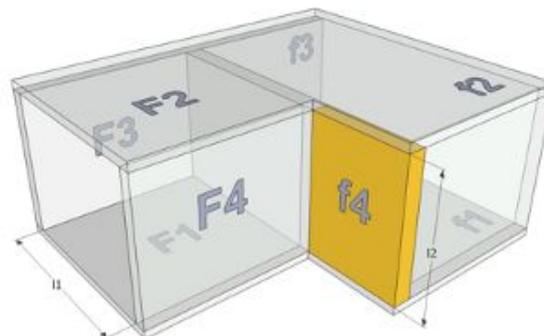


Figura 20. Modelo DB-HR para recintos adyacentes con 3 aristas comunes.

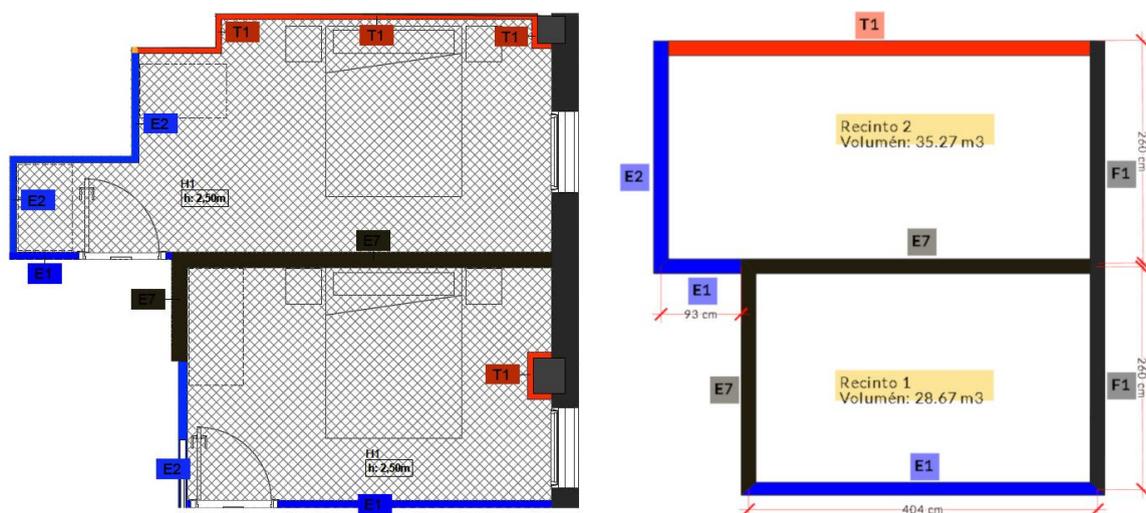


Figura 21. Plano real habitaciones H1 altillo | Adaptación plano para DB-HR.



Los recintos con los que se han trabajado en esta verificación son dos habitaciones ubicadas en la planta de los altillos, cada una en una vivienda diferente. La pared que separa ambas habitaciones es el elemento de separación vertical que se ha evaluado en este ensayo.

En la simulación, las superficies de los recintos son las mismas que las de los planos de la edificación [fig.21], sin embargo, como hemos destacado anteriormente debido a que la herramienta solo trabaja con recintos de hexaedro, nos vemos con la necesidad de adaptar aquellos recintos que no lo son, como es el caso de la habitación H1 del altillo 1. De igual manera, se ha optado por criterio técnico no modificar la longitud del elemento de separación vertical E7 que separa ambas habitaciones al ser el elemento que se está evaluando.

Sin embargo, sí se ha hecho modificaciones en el flanco F4 del recinto 1 que es una combinación de E7 y E2. Debido a que el elemento E7 cubre una mayor superficie de la pared y posee un mayor coeficiente de absorción es manifiesto que será el componente que tiene más repercusión en las mediciones in situ, de ahí que nos hayamos inclinado por este elemento para el flanco F4.

Otro punto importante a destacar es la omisión de ambas puertas y ventanas de los recintos por las limitaciones de la herramienta de cálculo DB-HR.

| Características Técnicas del Recinto 1 Altillo 2 (H1) | | | |
|---|---------------|---------|-------|
| Tipo de recinto como emisor | Unidad de uso | Volumen | 28.67 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|--------------|----------------|--|------------------|
| Separador | No consta (E7) | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | - |
| Suelo (F1) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | AC + M50 + LR 20 |
| Techo (F2) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | YL 15 + C |
| Fachada (F3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Pared (F4) | No consta (E7) | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | - |

Tabla 3. Composición de elementos del recinto 1.



| Características técnicas del recinto 2 Altillo 1 (H1) | | | |
|---|-------------------|---------|-------|
| Tipo de recinto como receptor | Recinto protegido | Volumen | 35.27 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|--------------|----------------|---|------------------|
| Separador | No consta (E7) | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | - |
| Suelo (f1) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | AC + M50 + LR 20 |
| Techo (f2) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | YL 15 + C |
| Fachada (f3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Pared (f4) | No consta (E7) | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | - |

Tabla 4. Composición de elementos del recinto 2.

| Tipos de uniones e índices de reducción vibracional | | | | |
|---|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| Encuentro | Tipo de unión | K _{Ff} | K _{Fd} | K _{Df} |
| Separador - Suelo | Rígida + de elementos homogéneos | -1 | 12 | 12 |
| Separador - Techo | Rígida + de elementos homogéneos | -1 | 12 | 12 |
| Separador - Pared | Rígida + de elementos homogéneos | 1.4 | 11.1 | 11.1 |
| Separador - Pared | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 4) | 5.7 | 5.7 | 5.7 |

Tabla 5. Tipo de uniones entre recinto 1 y recinto 2.

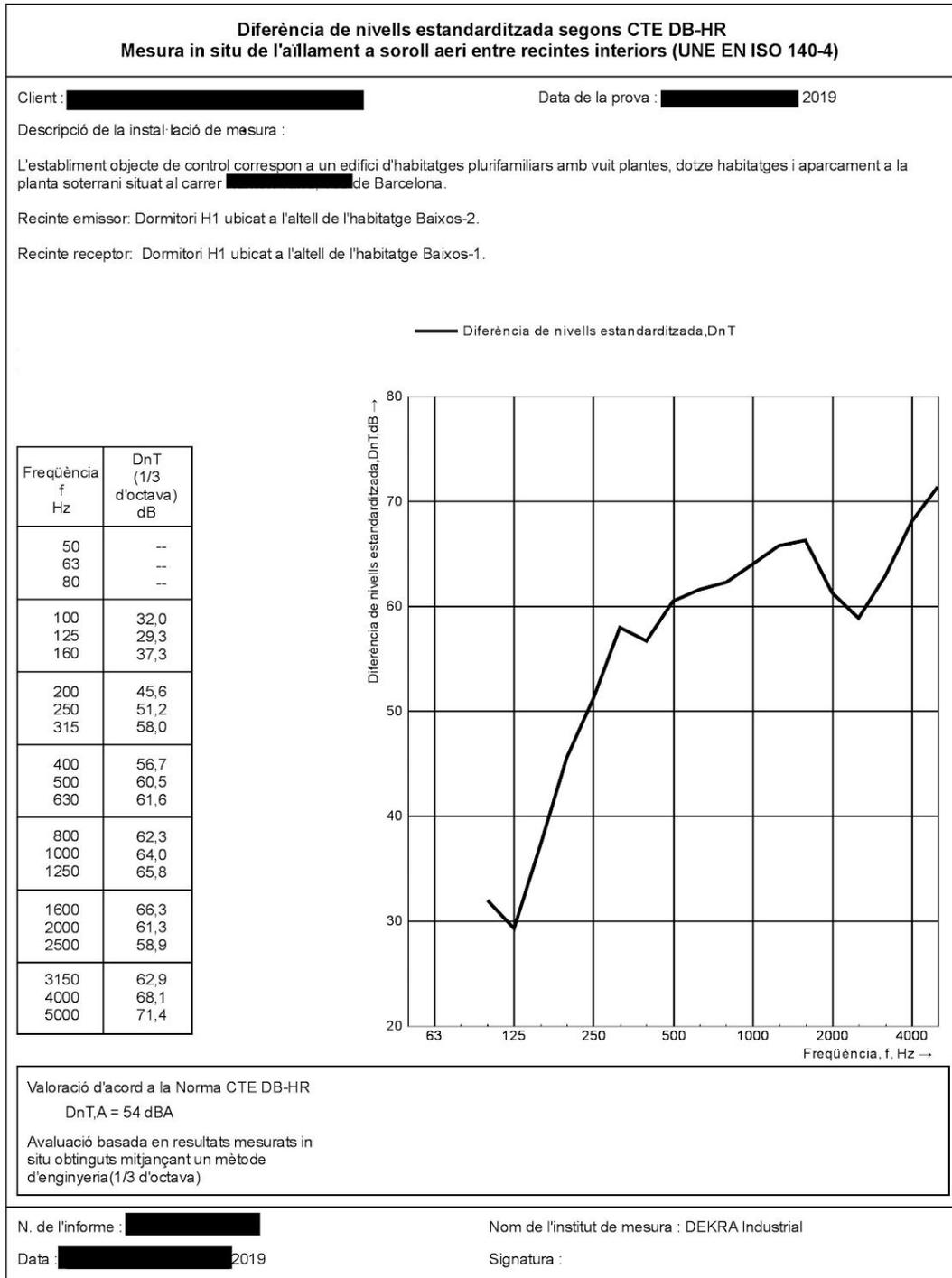


Figura 22. Extracto del informe oficial correspondiente al ensayo AA-06.

Comparación:

En ambos casos, tanto en la simulación previa como en los resultados obtenidos a partir de las mediciones in situ se ha conseguido superar el requisito de la Norma del CTE que son 50 dB.

Con la simulación se pronosticó en su día un aislamiento de 58 dB, un resultado aproximado a los 54 dB que figuran en el informe generado a partir de los datos de las mediciones in situ.

De estos resultados se deduce por lo tanto que existe un mayor aislamiento acústico con la simulación de la herramienta de cálculo DB-HR, una de las causas que contribuye a esta discrepancia es que nos vimos obligados a utilizar el muro de composición E7 para todo el flanco F4 del recinto 1 por los motivos que se explicaron anteriormente. De ahí que tengamos un mayor coeficiente de absorción global en el recinto 1, con lo que el ruido transmitido desde este recinto ya es de por sí menor, lo que conlleva una recepción de ruido menor en el recinto 2, lo que el programa interpreta como un mayor aislamiento por parte del elemento de separación vertical.

4.1.2 Aislamiento aéreo de elemento de separación vertical AA-07

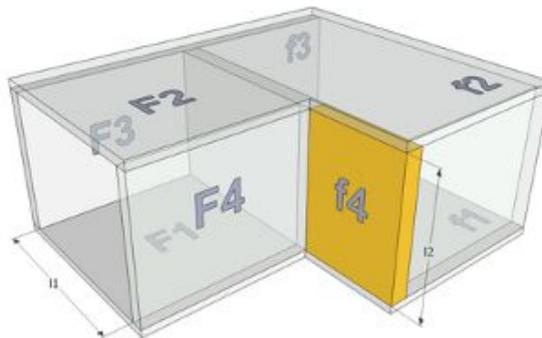


Figura 23. Modelo DB-HR para recintos adyacentes con 3 aristas comunes.

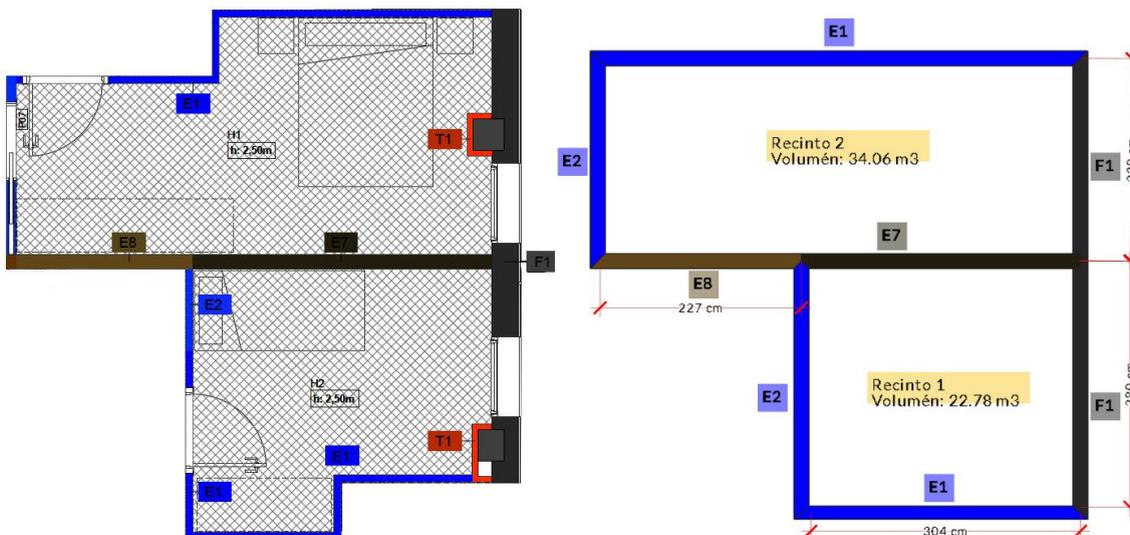


Figura 24. Plano real habitación H2 P2p2 y H1 P2p2 | Adaptación plano para DB-HR.

Para este segundo caso de aislamiento de elemento vertical se optó por utilizar la habitación H2 de la planta 2 del piso número 2 (recinto 1) y la habitación H1 de la planta 2 del piso número 1 (recinto 2). El criterio para utilizar estos recintos como emisor y receptor respectivamente se

debe a que son habitaciones cuyos planos y materiales de construcción se repiten en las plantas superiores con lo que se están obteniendo unos resultados más globales y significativos.

El elemento que se ha evaluado en este caso es el E7 [fig.24], cuya longitud no se ha modificado respecto al plano original.

A diferencia del caso AA-06 con esta simulación hemos tenido que adaptar ambas habitaciones para poder trabajar con la herramienta de cálculo DB-HR. Entre estas adaptaciones se incluye la omisión de dos puertas interiores, una puerta de cristal y una sección de tabique para el recinto 2. Mientras que para el recinto 1 se han omitido una puerta interior, una exterior de cristal y una sección de tabique.

| Características técnicas del recinto 1 2-2 H2 | | | |
|---|---------------|---------|-------|
| Tipo de recinto como emisor | Unidad de uso | Volumen | 22.78 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|--------------|----------------|--|------------------|
| Separador | No consta (E7) | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | - |
| Suelo (F1) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | AC + M50 + LR 20 |
| Techo (F2) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | YL 15 + C |
| Fachada (F3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Pared (F4) | P4.1.a (E2) | YL 15 + AT MW 48 + YL 15 | - |

Tabla 6. Composición de elementos del recinto 1.

| Características técnicas del recinto 2 2-1 H1 | | | |
|---|-------------------|---------|-------|
| Tipo de recinto como receptor | Recinto protegido | Volumen | 34.06 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|--------------|----------------|--|------------------|
| Separador | No consta (E7) | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | - |
| Suelo (f1) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | AC + M50 + LR 20 |
| Techo (f2) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | YL 15 + C |
| Fachada (f3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Pared (f4) | No consta (E8) | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | - |

Tabla 7. Composición de elementos del recinto 2.



| Tipos de uniones e índices de reducción vibracional | | | | |
|--|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Encuentro | Tipo de unión | K_{Ff} | K_{Fd} | K_{Df} |
| Separador - Suelo | Rígida + de elementos homogéneos | -1 | 12 | 12 |
| Separador - Techo | Rígida + de elementos homogéneos | -1 | 12 | 12 |
| Separador - Pared | Rígida + de elementos homogéneos | 16.6 | 9.6 | 9.6 |
| Separador - Pared | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 4) | 8.1 | 8.1 | 17.2 |

Tabla 8. Tipo de uniones entre recinto 1 y recinto 2.

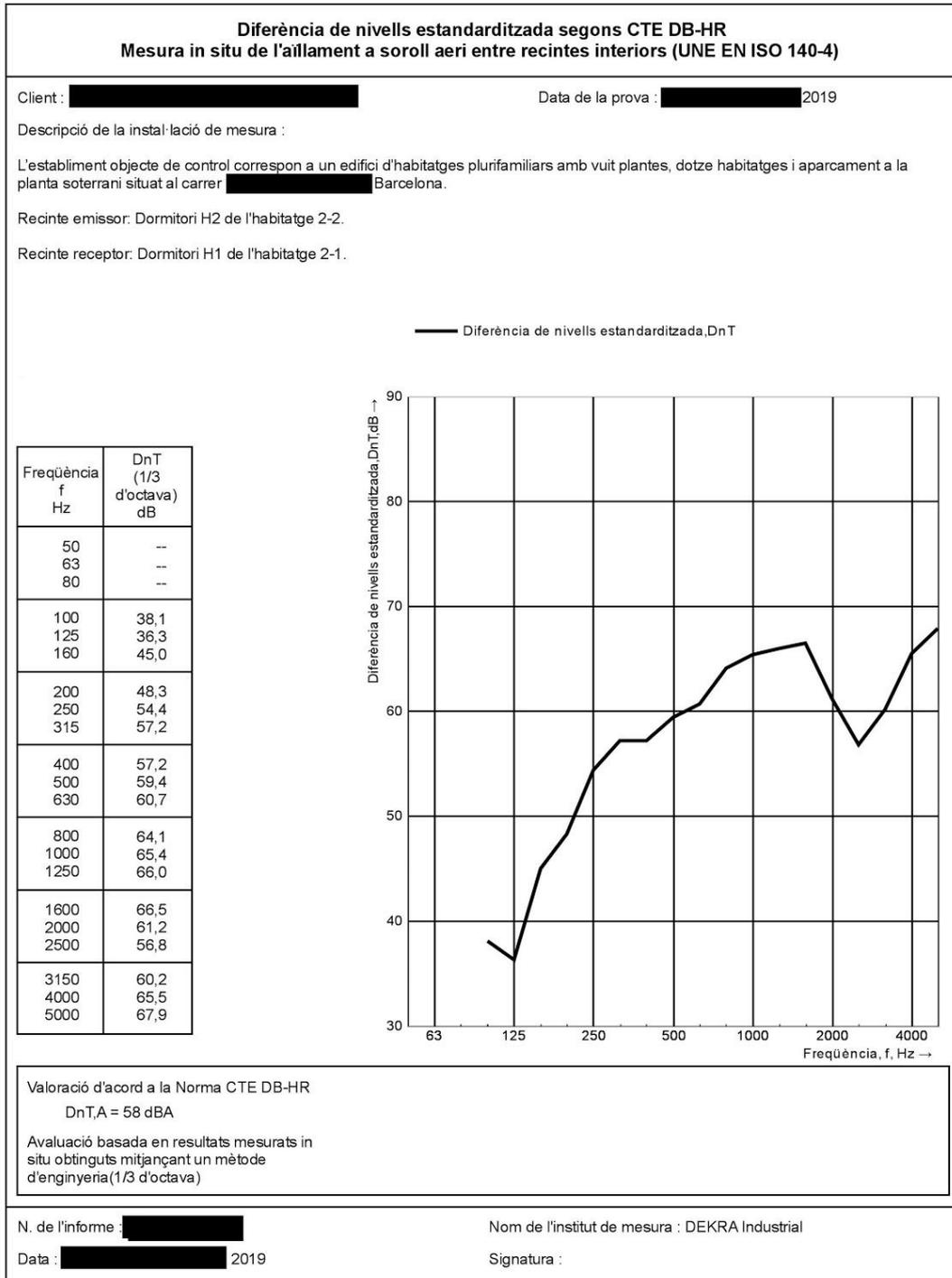


Figura 25. Extracto del informe oficial correspondiente al ensayo AA-07.

Comparación:

En ambos casos, tanto en la simulación previa como con los resultados obtenidos a partir de las mediciones in situ se ha conseguido superar el requisito de la Norma del Código Técnico de Edificación que son 50 dB.

Con la simulación se pronosticó en su día un aislamiento de 56 dB, mientras que con las mediciones in situ se han obtenido 58 dB, lo que deja una diferencia de 2 dB.

Una de las posibles causas de la menor absorción acústica obtenida con la simulación es la adaptación del recinto 1 y es que, la habitación en los planos de construcción tiene 7 uniones entre todos los elementos que lo componen, una vez hecha la modificación para la herramienta de cálculo DB-HR pasamos a tener solamente 4, es decir, hemos reducido en tres las uniones por las que se propaga y disipa el sonido en el recinto emisor, esto conlleva que el elemento de construcción E7 está siendo sometido a una mayor exposición de ruido, una exposición que es suficiente para justificar el porqué tenemos menos aislamiento acústico en el elemento de separación vertical.

4.2 Aislamiento aéreo de elementos de separación horizontal.

En este segundo apartado se analiza el aislamiento acústico al sonido aéreo de elementos de separación horizontal. Los recintos para este tipo de aislamiento tienen que encontrarse total o parcialmente uno sobre el otro.

4.2.1 Aislamiento aéreo de elemento de separación vertical AA-10

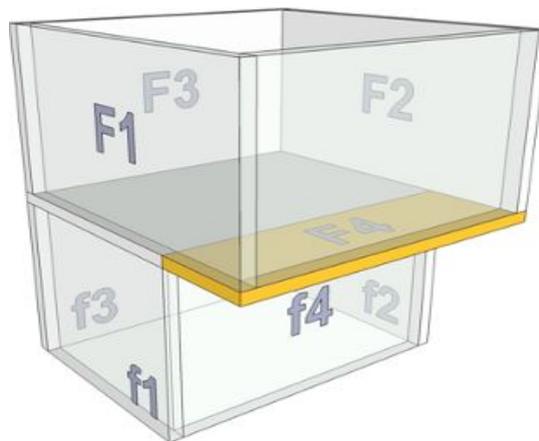


Figura 26. Modelo DB-HR para recintos superpuestos con 3 aristas comunes.

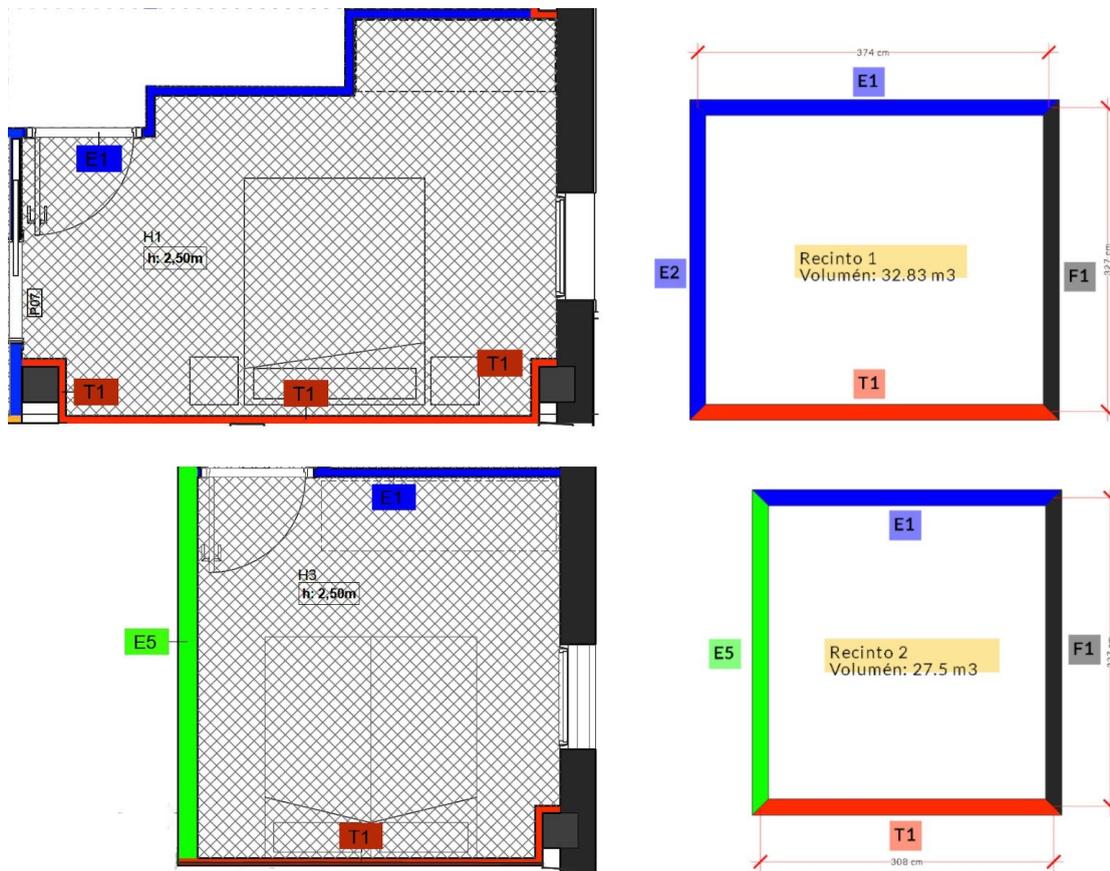


Figura 27. Plano real habitación H1 P1p2 y H3 A2 | Adaptación plano para DB-HR.

Los recintos utilizados para el ensayo son la habitación H1 de la primera planta del piso número 2 (recinto 1) y la habitación H3 del attillo número 2 (recinto 2).

El elemento que se ha evaluado en este caso es el suelo que separa el ambos recintos, cuya superficie no se ha modificado respecto al plano original [fig.27].

Por otro lado, la estructura del recinto 1 se han tenido que modificar (sin variar su superficie), pasando a ser un hexaedro.

Otro punto importante a destacar es la omisión de dos puertas interiores en el recinto 1, 1 puerta interior en el recinto 2 y una puerta de cristal en ambos recintos, esto a consecuencia de las limitaciones de la herramienta de cálculo del DB-HR.

| Características técnicas del recinto 1 Altillo 2, H3 | | | |
|--|---------------|---------|-------|
| Tipo de recinto como emisor | Unidad de uso | Volumen | 32.83 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|-------------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Separador Suelo | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | AC + M50 + LR 20 YL 15 + C |
| Pared (F1) | P4.1.a (E1) | YL 15 + LR 48 + YL 15 | - |
| Tabiquería (F2) | F13.5.a (T1) | H + 15 YL + 48 LR | - |
| Fachada (F3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Flanco Suelo (F4) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | AC + M50 + LR 20 |

Tabla 9. Composición de elementos del recinto 1.

| Características técnicas del recinto 2 1er P2, H1 | | | |
|---|---------------|---------|------|
| Tipo de recinto como receptor | Unidad de uso | Volumen | 27.5 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|-----------------|----------------|---|---------------------------------|
| Separador Suelo | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | AC + M50 + LR 20 YL 15 + C |
| Pared (f1) | P4.1.a (E1) | YL 15 + LR 48 + YL 15 | - |
| Tabiquería (f2) | F13.5.a(T1) | H + 15 YL + 48 LR | - |
| Fachada (f3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Pared (f4) | No consta (E5) | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | - |

Tabla 10. Composición de elementos del recinto 2.

| Tipos de uniones e índices de reducción vibracional | | | | |
|---|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| Encuentro | Tipo de unión | K _{Ff} | K _{Fd} | K _{Df} |
| Separador - Pared | Rígida + de elementos homogéneos | 36.5 | 16.5 | 16.5 |
| Separador - Pared | Rígida + de elementos homogéneos | 12.9 | 9 | 9 |
| Separador - Pared | Rígida + de elementos homogéneos | 10.8 | 8.8 | 8.8 |
| Separador - Pared - Suelo | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 1) | 6.3 | 4.1 | 6.3 |

Tabla 11. Tipo de uniones entre recinto 1 y recinto 2.

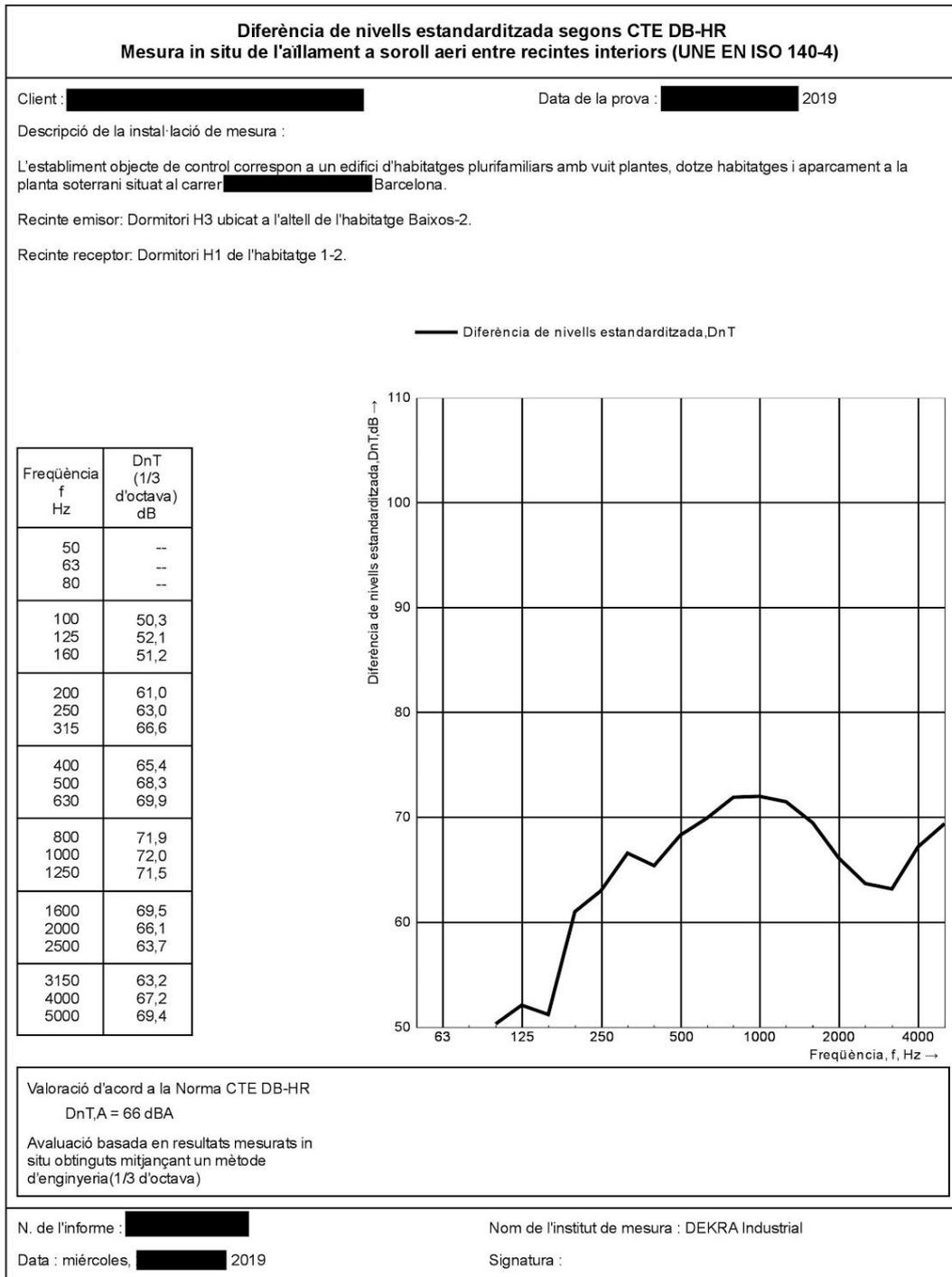


Figura 28. Extracto del informe oficial correspondiente al ensayo AA-06.

Comparación:

En ambos casos, tanto en la simulación previa como con los resultados obtenidos a partir de las mediciones in situ se ha conseguido superar el requisito de la Norma del CTE que son 50 dB.

Con la simulación se pronosticó en su día un aislamiento de 62 dB, mientras que con las mediciones in situ se han obtenido 66 dB, lo que deja una diferencia de 4 dB.

Al igual que en el ensayo AA-07, en la adaptación del recinto 1 para la herramienta de cálculo del DB-HR se han tenido que reducir el número de uniones que tenemos en los planos de la habitación. Pasamos de 12 uniones a tener solamente 4, es decir, hemos reducido dos tercios de las uniones por las que se propaga el sonido tanto hacia el recinto receptor como hacia la habitación que se encuentra justo encima. Por lo tanto, la simulación no tiene en cuenta estas vías por las que se transmite y disipa el ruido, de ahí que se considere una de las posibles causas por las que el aislamiento acústico del suelo es menor que el del conseguido con los datos de las mediciones in situ.

4.2.2 Aislamiento aéreo de elemento de separación vertical AA-11

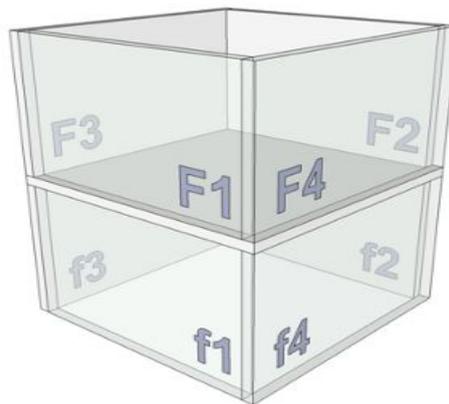


Figura 29. Modelo DB-HR para recintos superpuestos con 4 aristas comunes.

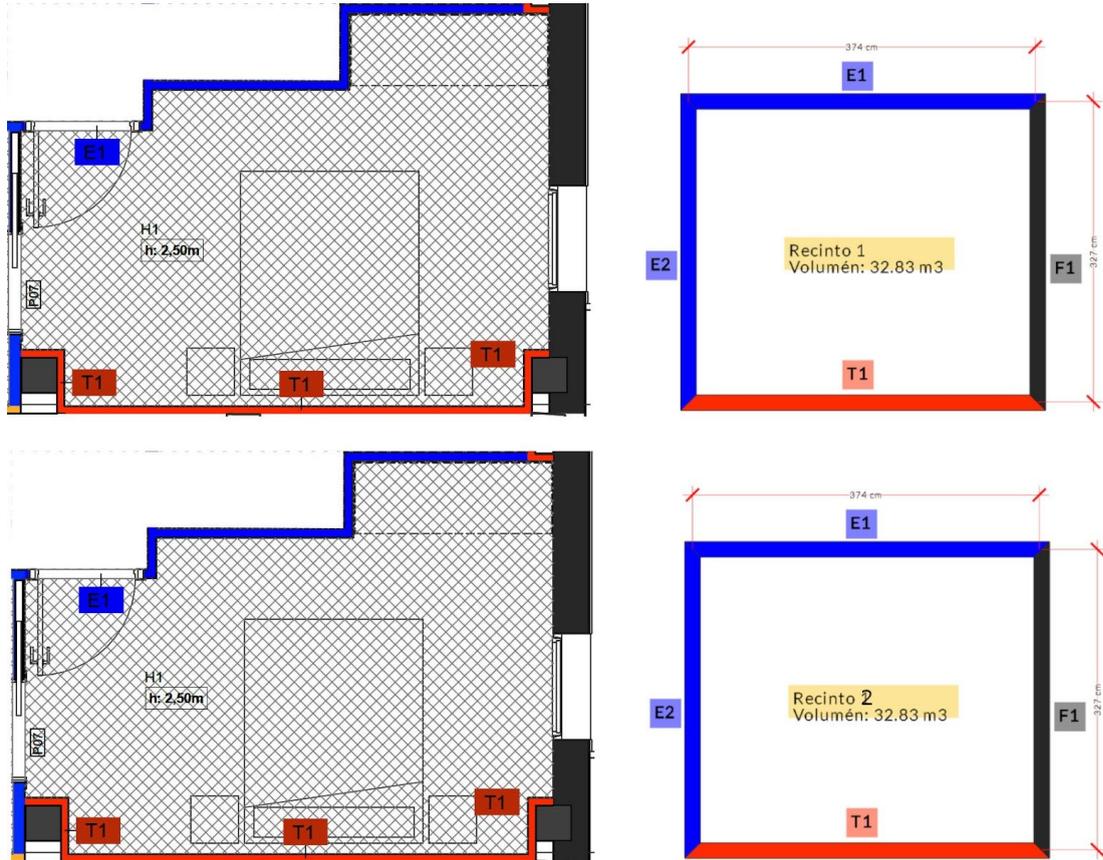


Figura 30. Plano real habitación H1 P2p2 y H1 P1p2 | Adaptación plano para DB-HR.

Para este segundo caso de aislamiento de elemento horizontal se optó por utilizar la habitación H1 de la planta 2 del piso número 2 (recinto 1) y la habitación H1 de la planta 1 del piso número 2 (recinto 2). El criterio para utilizar estos recintos como emisor y receptor respectivamente se debe a que son habitaciones de mismas características y planos, estas se repiten en las plantas superiores con lo que se están obteniendo unos resultados más significativos. Además se ha querido utilizar otro modelo de los tipos de casos que ofrece el software DB-HR.

El elemento que se ha evaluado en este caso es el suelo que separa el ambos recintos, cuya superficie no se ha modificado respecto al plano original. Por otro lado, la estructura de ambos recintos se han tenido que modificar (sin variar su superficie), pasando a ser dos hexaedros con 4 aristas comunes.

Otro punto importante a destacar es la omisión de dos puertas interiores tanto en el recinto 1 como recinto 2 así como una puerta de cristal, esto a consecuencia de las limitaciones de la herramienta de cálculo DB-HR.

| Características técnicas del recinto 1 2-2 (H1) | | | |
|---|---------------|---------|-------|
| Tipo de recinto como emisor | Unidad de uso | Volumen | 32.83 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|-----------------|-------------|-------------------------------------|------------------|
| Separador Suelo | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | AC + M50 + LR 20 |
| Tabiquería (F1) | F13.5.a(T1) | H + 15 YL + 48 LR | - |
| Pared (F2) | P4.1.a (E1) | YL 15 + LR 48 + YL 15 | - |
| Fachada (F3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Pared (F4) | P4.1.a (E2) | YL 15 + LR 48 + YL 15 | - |

Tabla 12. Composición de elementos del recinto 1.

| Características técnicas del recinto 2 1-2 (H1) | | | |
|---|---------------|---------|-------|
| Tipo de recinto como receptor | Unidad de uso | Volumen | 32.83 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|-----------------|-------------|-------------------------------------|---------------|
| Separador Techo | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | YL 15 + C |
| Tabiquería (F1) | F13.5.a(T1) | H + 15 YL + 48 LR | - |
| Pared (F2) | P4.1.a (E1) | YL 15 + LR 48 + YL 15 | - |
| Fachada (F3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Pared (F4) | P4.1.a (E2) | YL 15 + LR 48 + YL 15 | - |

Tabla 13. Composición de elementos del recinto 2.

| Tipos de uniones e índices de reducción vibracional | | | | |
|---|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| Encuentro | Tipo de unión | K _{Ff} | K _{Fd} | K _{Df} |
| Elemento - Pared | Rígida + de elementos homogéneos | 12.9 | 9 | 9 |
| Elemento - Pared | Rígida + de elementos homogéneos | 36.5 | 16.5 | 16.5 |
| Elemento - Pared | Rígida + de elementos homogéneos | 36.5 | 16.5 | 16.5 |
| Elemento - Pared | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 1) | 10.8 | 8.8 | 8.8 |

Tabla 14. Tipo de uniones entre recinto 1 y recinto 2.

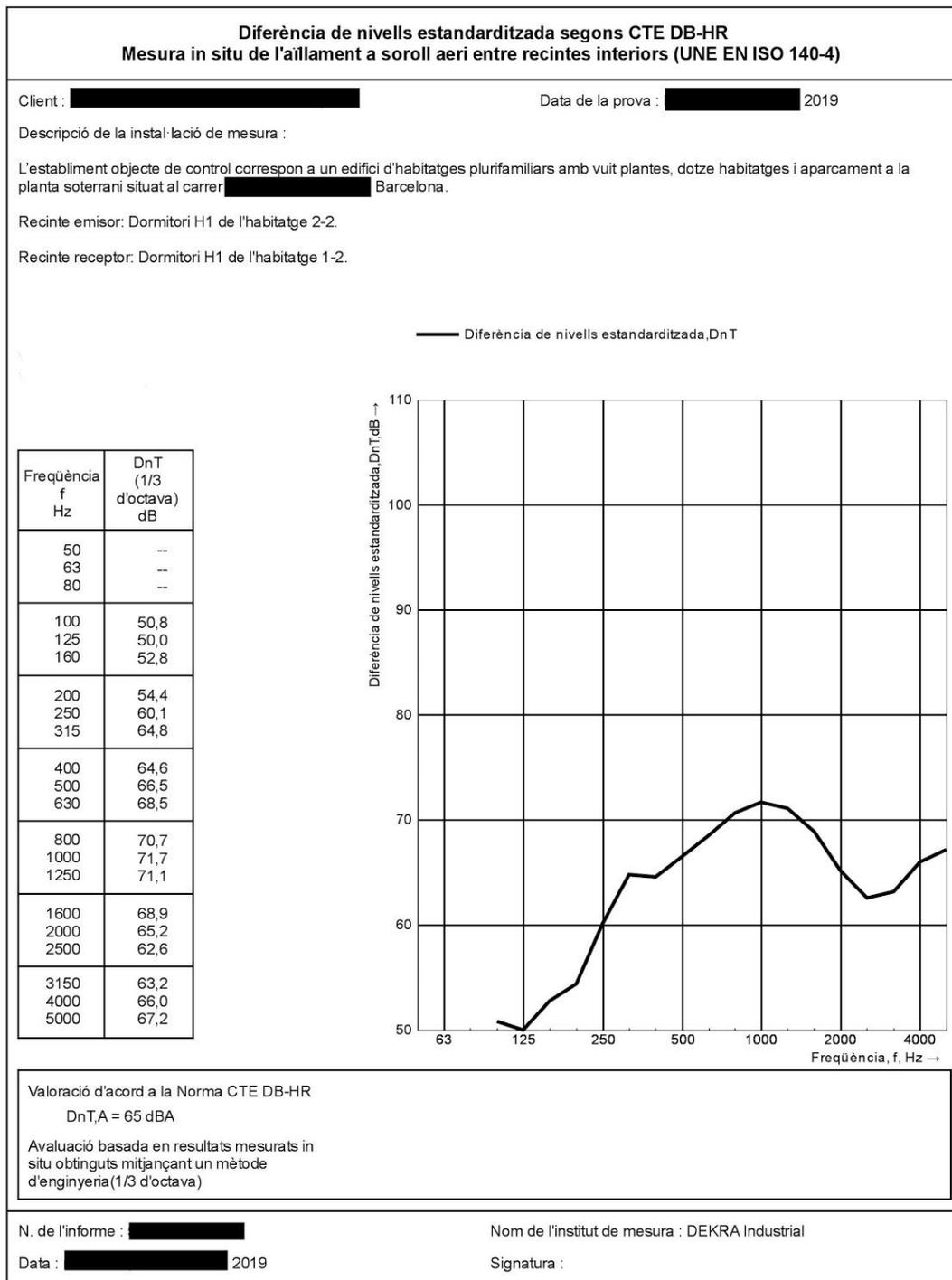


Figura 31. Extracto del informe oficial correspondiente al ensayo AA-11.

Comparación:

En ambos casos, tanto en la simulación previa como con los resultados obtenidos a partir de las mediciones in situ se ha conseguido superar el requisito de la Norma del Código Técnico de Edificación que son 50 dB.

Con la simulación se ha conseguido un aislamiento de 64 dB, mientras que con las mediciones in situ se han obtenido 65 dB, lo que deja una diferencia de 1 dB.

Una de las posibles causas de esta diferencia mínima es la coincidencia en el número de uniones entre ambos recintos, es decir, al tratarse de dos habitaciones iguales que se encuentran una sobre la otra sus uniones con los diferentes elementos serán las mismas, tanto en los planos de la constructora como en las adaptaciones realizadas para la herramienta de cálculo del DB-HR.

La estructura de los elementos constructivos también colabora a que la discrepancia de resultados sea mínima, como se puede observar en los planos de las habitaciones, todas las paredes solo constan de un tipo de elemento, sin tener que adaptarlas para la herramienta.

4.3 Aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos.

Los recintos objetos de control en este caso son unidades de uso diferentes, es decir, habitaciones o salas comunes de diferentes viviendas, se evalúa el elemento horizontal y éstas han de encontrarse total o parcialmente una sobre la otra.

4.3.1 Aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos AI-02

Para este primer caso de aislamiento a ruido de impactos se optó al igual que el ensayo AA-11, utilizar la habitación H1 de la planta 2 del piso número 2 (recinto 1) y la habitación H1 de la planta 1 del piso número 2 (recinto 2). El criterio para utilizar estos recintos como emisor y receptor respectivamente se debe a que son habitaciones de mismas características y planos, estas se repiten en las plantas superiores con lo que se están obteniendo unos resultados más significativos.

Como mencionamos previamente, la herramienta de cálculo DB-HR en las simulaciones de aislamiento acústico aéreo incluye adicionalmente el aislamiento acústico a ruido de impactos.

De ahí que tanto figuras como tablas de composición de los elementos de los recintos sean las mismas que las del ensayo AA-11.

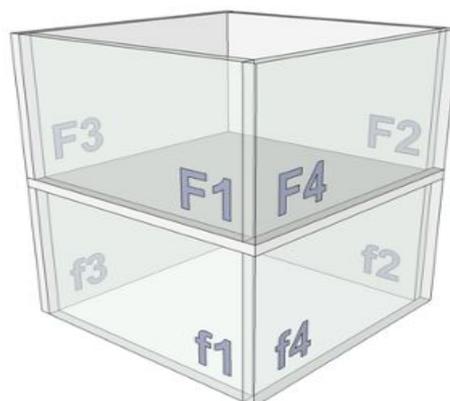


Figura 32. Modelo DB-HR para recintos superpuestos con 4 aristas comunes.



Figura 33. Plano real habitación H1 P2p2 y H1 P1p2 | Adaptación plano para DB-HR.

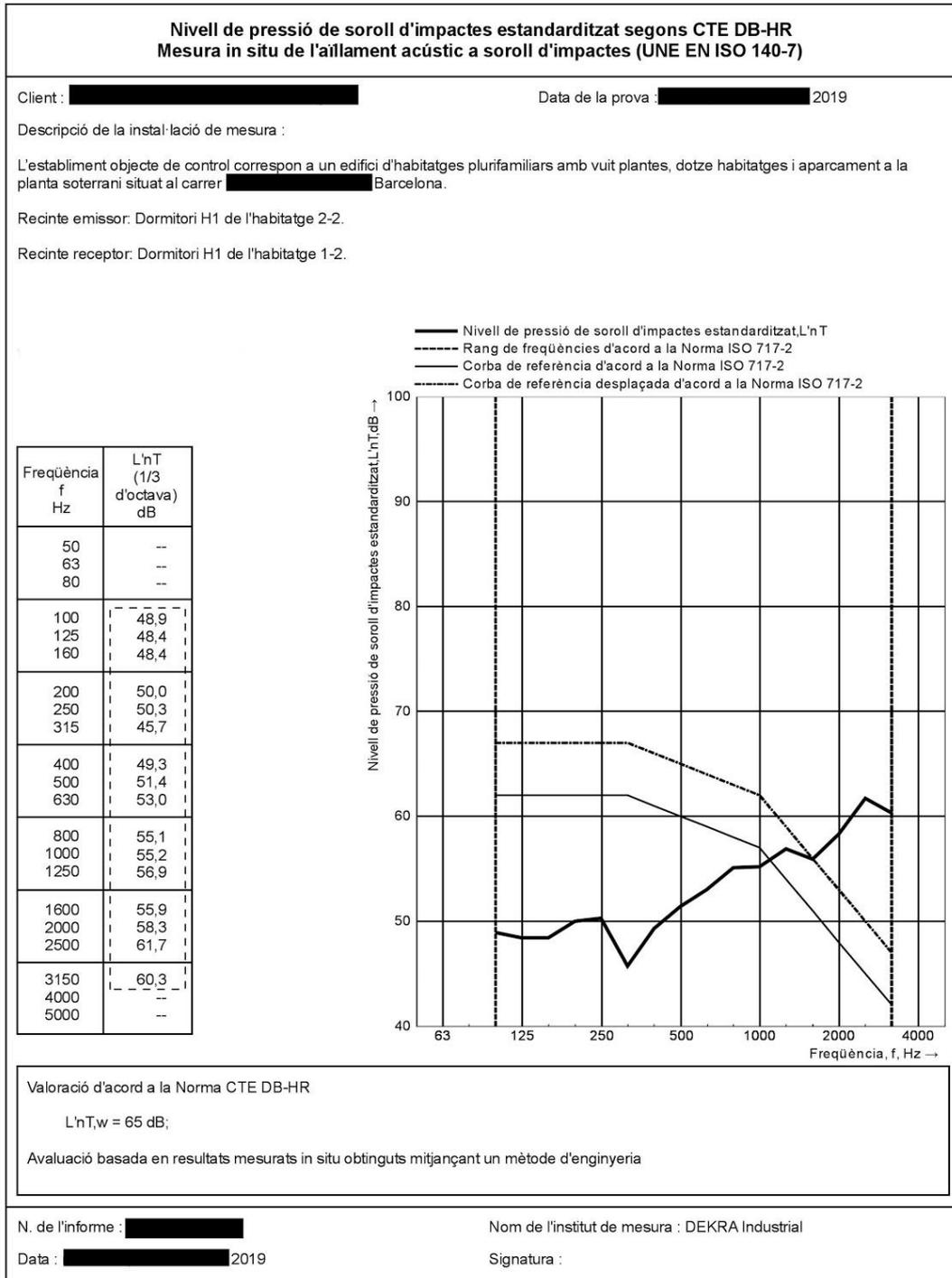


Figura 34. Extracto del informe oficial correspondiente al ensayo AI-02.

Comparación:

En ambos casos, tanto en la simulación previa como con los resultados obtenidos a partir de las mediciones in situ se ha conseguido superar el requisito de la Norma del Código Técnico de Edificación que son 65 dB.

Con la simulación se pronosticó en su día un nivel de presión de ruido de impactos estandarizado igual a 39 dB, mientras que con las mediciones in situ se han obtenido 65 dB.

El principal motivo de esta discrepancia de 26 decibelios se debe nuevamente a la adaptación de los recintos para introducirlos en la herramienta de cálculo del DB-HR. En los ensayos de aislamiento a ruido de impactos las uniones tienen mayor importancia que en los aislamientos a ruido aéreo, de ahí que al reducir el número de uniones entre elementos conlleve una menor propagación de sonido hacia el recinto receptor.

4.3.2 Aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos AI-03

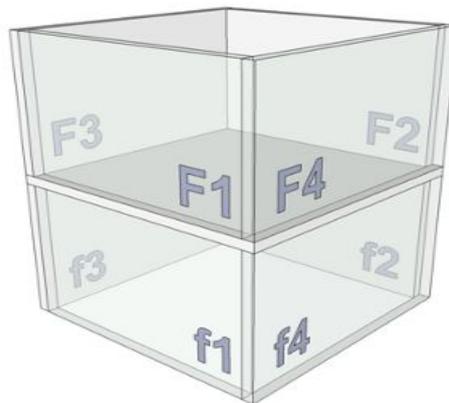


Figura 35. Modelo DB-HR para recintos superpuestos con 4 aristas comunes.

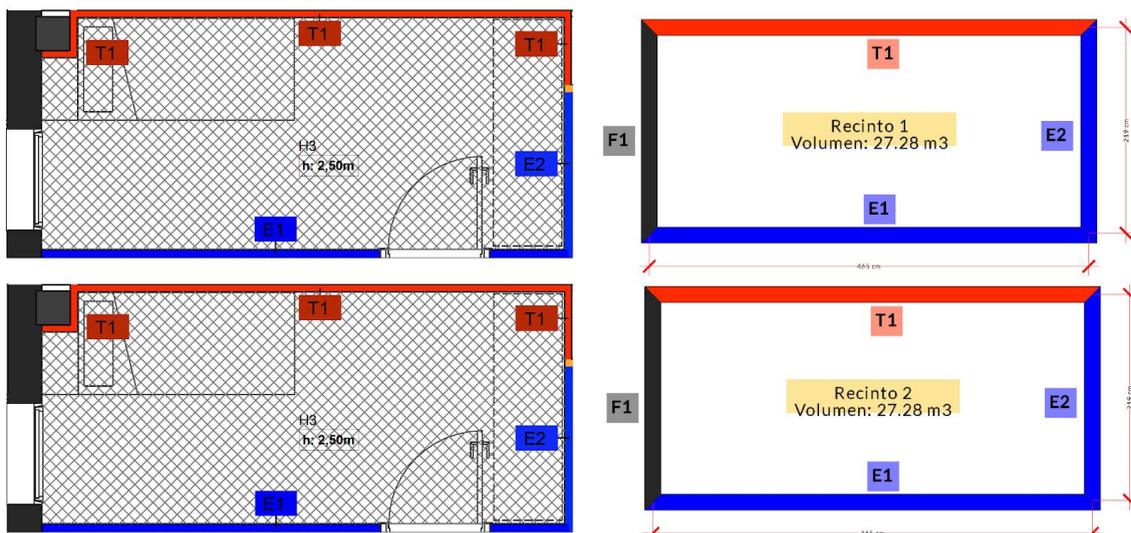


Figura 36. Plano real habitación H3 P3p1 y H3 P2p1 | Adaptación plano para DB-HR.

Para este segundo caso de aislamiento de impactos se optó por utilizar la habitación H3 de la planta 3 del piso número 1 (recinto 1) y la habitación H3 de la planta 2 del piso número 1 (recinto 2). El criterio para utilizar estos recintos como emisor y receptor respectivamente se debe a que son habitaciones de mismas características y planos, estas se repiten en la planta 1 con la planta 2 así como en las plantas superiores con lo que se están obteniendo unos resultados más significativos.

El elemento que se ha evaluado en este caso es el suelo cuya superficie no se ha modificado respecto al plano original. Las habitaciones por otra parte, se han tenido que modificar para que pasen a ser hexaedros y así poder introducirlos en la herramienta de cálculo del DB-HR.

| Características técnicas del recinto 1 3-1 (H3) | | | |
|--|---------------|---------|-------|
| Tipo de recinto como emisor | Unidad de uso | Volumen | 27.28 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|-----------------|-------------|-------------------------------------|------------------|
| Separador Suelo | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | AC + M50 + LR 20 |
| Tabiquería (F1) | F13.5.a(T1) | H + 15 YL + 48 LR | - |
| Pared (F2) | P4.1.a (E1) | YL 15 + LR 48 + YL 15 | - |
| Fachada (F3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Pared (F4) | P4.1.a (E2) | YL 15 + LR 48 + YL 15 | - |

Tabla 15. Composición de elementos del recinto 1.

| Características técnicas del recinto 2 2-1 (H3) | | | |
|--|---------------|---------|-------|
| Tipo de recinto como receptor | Unidad de uso | Volumen | 27.28 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|-----------------|-------------|-------------------------------------|---------------|
| Separador Techo | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | YL 15 + C |
| Tabiquería (F1) | F13.5.a(T1) | H + 15 YL + 48 LR | - |
| Pared (F2) | P4.1.a (E1) | YL 15 + LR 48 + YL 15 | - |
| Fachada (F3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Pared (F4) | P4.1.a (E2) | YL 15 + LR 48 + YL 15 | - |

Tabla 16. Composición de elementos del recinto 2.



| Tipos de uniones e índices de reducción vibracional | | | | |
|---|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| Encuentro | Tipo de unión | K _{Ff} | K _{Fd} | K _{Df} |
| Elemento - Pared | Rígida + de elementos homogéneos | 10.8 | 8.8 | 8.8 |
| Elemento - Pared | Rígida + de elementos homogéneos | 36.5 | 16.5 | 16.5 |
| Elemento - Pared | Rígida + de elementos homogéneos | 12.9 | 9 | 9 |
| Elemento - Pared | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 1) | 36.5 | 16.5 | 16.5 |

Tabla 17. Tipo de uniones entre recinto 1 y recinto 2.

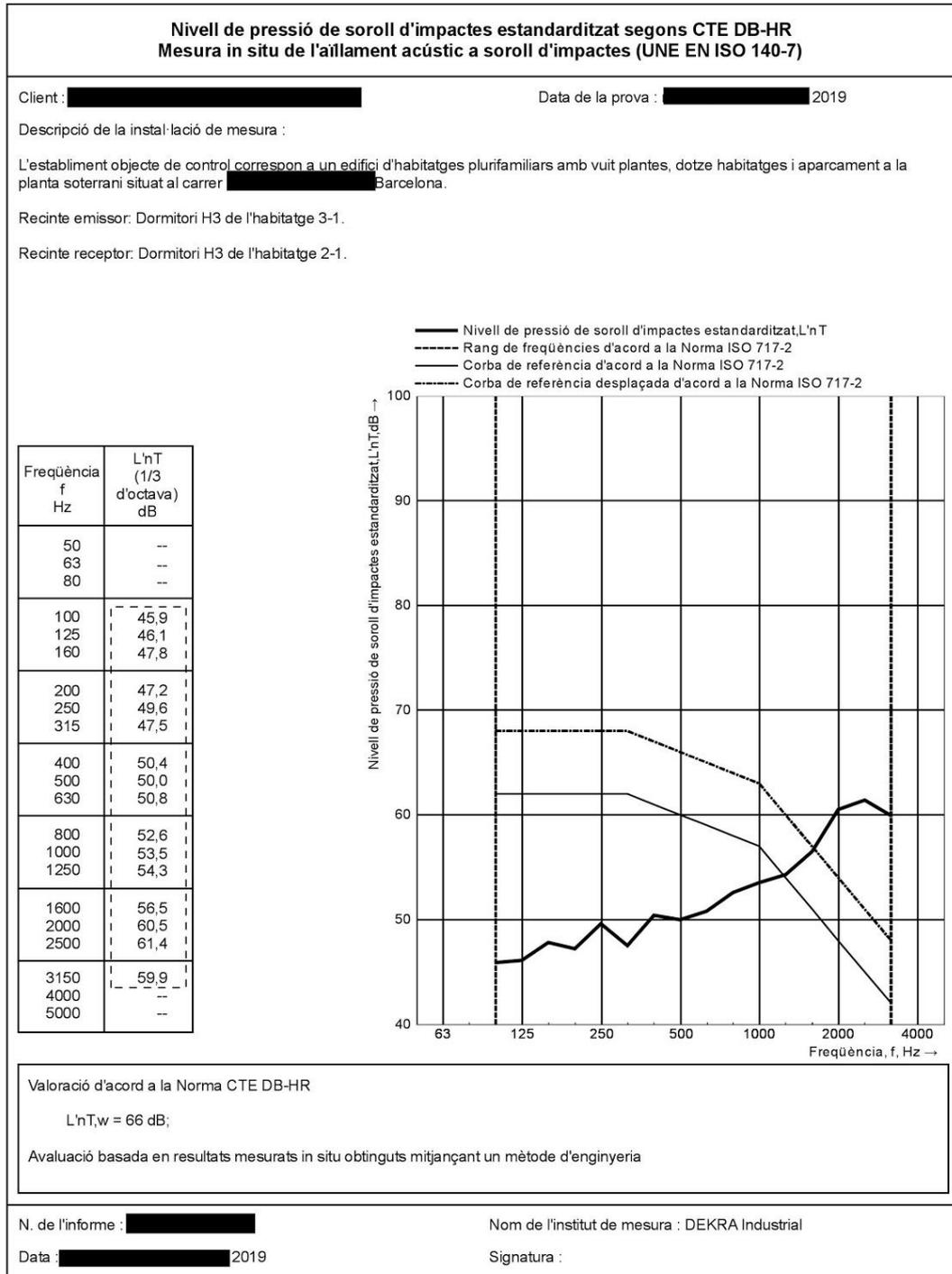


Figura 37. Extracto del informe oficial correspondiente al ensayo AI-03.

Comparación.

En ambos casos, tanto en la simulación previa como con los resultados obtenidos a partir de las mediciones in situ se ha conseguido superar el requisito de la Norma del Código Técnico de Edificación que son 65 dB.

Con la simulación se pronosticó en su día un nivel de presión de ruido de impactos estandarizado igual a 40 dB, mientras que con las mediciones in situ se han obtenido 66 dB*.

El principal motivo de esta discrepancia de 26 decibelios se debe nuevamente a la adaptación de los recintos para introducirlos en la herramienta de cálculo del DB-HR.

*En las medidas in situ se admiten tolerancias de 3 dB (A) respecto a los valores de aislamiento acústico establecido.

4.4 Aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachada

En este último apartado se analiza el aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachada.

4.4.1 Aislamiento acústico a ruido de elementos de fachada AF-01

Para este primer caso de aislamiento a ruido aéreo de elementos de fachada se optó por evaluar la fachada que da al patio interior del edificio. La habitación que se ha utilizado como recinto receptor es la H1 del altillo 2.

El elemento que se ha evaluado en este caso es la fachada que da al patio interior, cuya superficie no se ha modificado respecto al plano original.

Por otro lado, la estructura del recinto receptor se han tenido que modificar (sin variar su superficie), uno de los cambios más significativos en comparación con el plano original, es que el flanco f3 está compuesto únicamente por el elemento constructivo E7. A diferencia del resto de ensayos de aislamiento aéreo, en la simulación de fachadas podemos incluir ventanas y capialzados que se encuentren en la fachada que se esté evaluando. En este caso, se ha incluido la puerta de cristal que tiene vistas al patio interior.

Otro punto importante a destacar es la omisión de la puerta de acceso a la habitación, esto a consecuencia de las limitaciones de la herramienta de cálculo DB-HR.

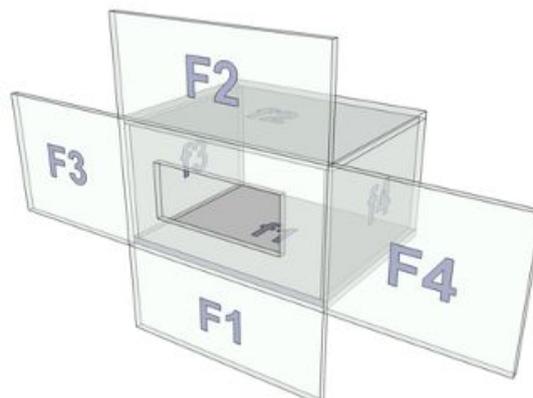


Figura 38. Modelo DB-HR para aislamiento exterior de fachada, patio interior.

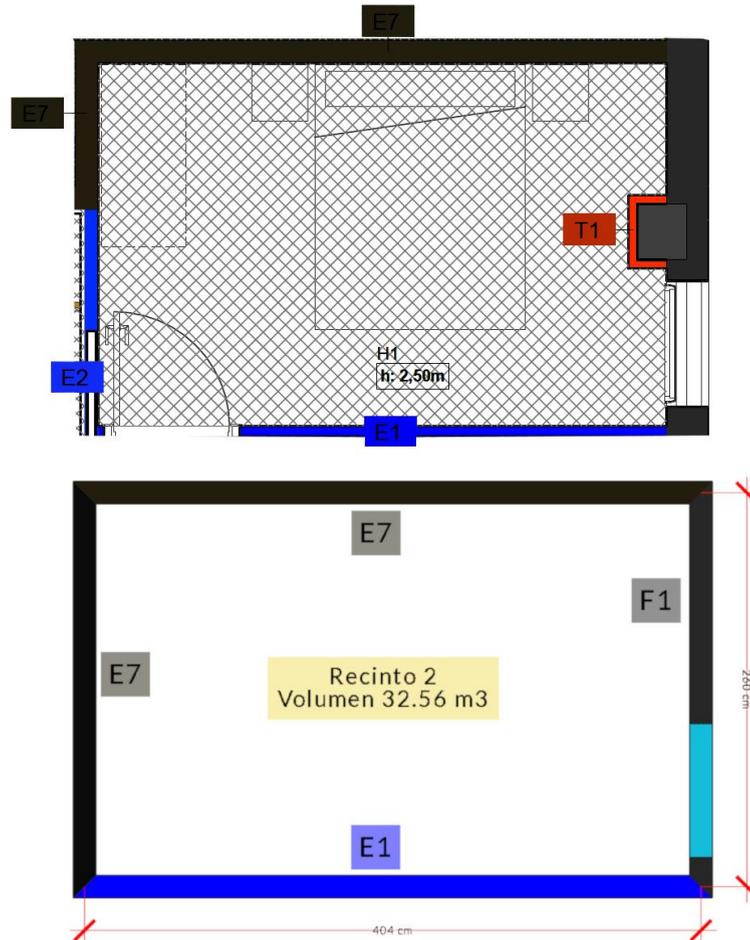


Figura 39. Plano real habitación H1 de A2 | Adaptación plano para DB-HR.

| Características técnicas de Fachada Fachadas Bajos 2 | | | |
|--|---------------|------------|------|
| Sección fachada directa | Unidad de uso | Superficie | 8.06 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|-----------------------|-------------|-------------------------------------|---------------|
| Sección Separador | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Elemento Fachada (F1) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Elemento Fachada (F2) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Elemento Fachada (F3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Elemento Fachada (F4) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |

Tabla 18. Composición de elementos de fachada patio interior.



| Características técnicas del recinto 1 Altillo Bajo 2 (H1) | | | |
|--|---------------|---------|-------|
| Tipo de recinto como emisor | Unidad de uso | Volumen | 32.56 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|-------------------|----------------|--|------------------|
| Sección Separador | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Suelo (f1) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | AC + M50 + LR 20 |
| Techo (f2) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | YL 15 + C |
| Pared (f3) | P4.1.a (E1) | YL 15 + LR 48 + YL 15 | - |
| Pared (f4) | No consta (E7) | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | - |

Tabla 19. Composición de elementos del recinto 1.

| Tipos de uniones e índices de reducción vibracional | | | | |
|---|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| Encuentro | Tipo de unión | K _{Ff} | K _{Fd} | K _{Df} |
| Fachada - Suelo | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 3) | 5.8 | 7.5 | 5.8 |
| Fachada - Techo | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 3) | 5.8 | 7.5 | 5.8 |
| Fachada - Pared | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 2) | 12 | -1.1 | 12 |
| Fachada - Pared | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 2) | 8.1 | -1 | 8.1 |

Tabla 20. Tipo de uniones entre recinto 1 y fachada patio interior.

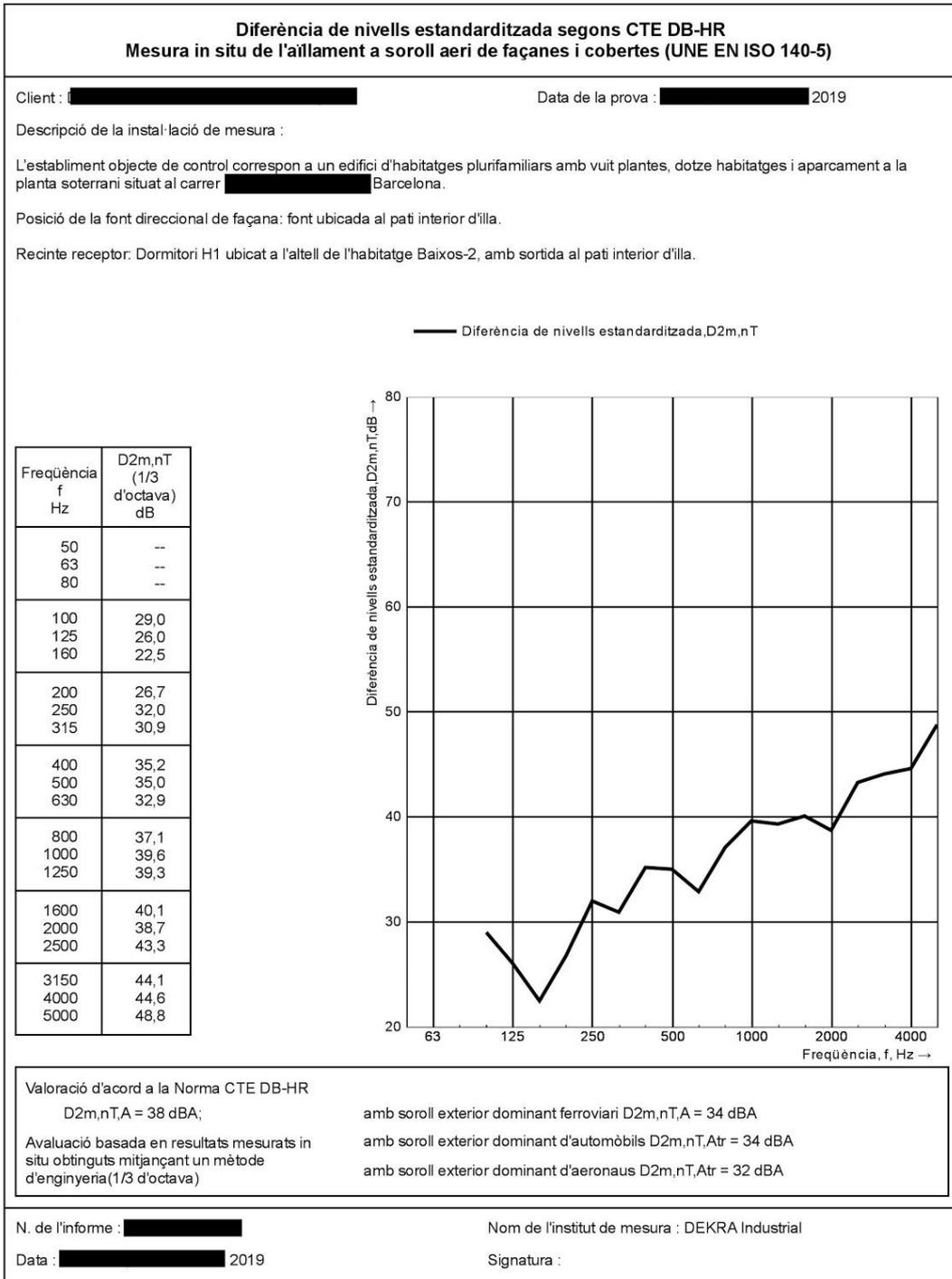


Figura 40. Extracto del informe oficial correspondiente al ensayo AF-01.

Comparación:

En ambos casos, tanto en la simulación previa como con los resultados obtenidos a partir de las mediciones in situ se ha conseguido superar el requisito de la Norma del Código Técnico de Edificación que son 30 dB.

Con la simulación se pronosticó en su día un aislamiento de 33 dB para la puerta de cristal, mientras que con las mediciones in situ se han obtenido 34 dB con sonido exterior dominante de automóviles, lo que deja una diferencia de 1 dB

Uno de los principales motivos por los que tenemos resultados tan parecidos, es porque el recinto de los planos prácticamente no se ha tenido que adaptar para la herramienta de cálculo del DB-HR y que los materiales de los elementos de la fachada así como los de la propia fachada son fieles a lo que viene definido en los planos de la constructora

4.4.2 Aislamiento acústico a ruido de elementos de fachada AF-04

El último caso evaluado en este TFG corresponde al aislamiento aéreo del elemento de fachada que da a la calle. Las mediciones in situ se han realizado ubicando el altavoz en la acera de enfrente y recogiendo medidas de recepción desde la habitación EMC del piso número 2 de la planta 1.

Uno de los cambios más significativos en las adaptaciones del recinto emisor se encuentra en el flanco f4. En los planos reales del recinto se puede observar que éste está compuesto por dos elementos diferentes de tabique: T1 y T2, con la adecuación para la herramienta de cálculo DB-HR solo se ha utilizado T1, ya que cubre mayor longitud de superficie.

En las simulaciones, otro punto importante a destacar es la omisión de dos puertas en el recinto emisor, así como los muebles de la cocina que se pudieron observar cuando se realizaron las mediciones in situ, esto también a consecuencia de las limitaciones de la herramienta de cálculo del DB-HR.

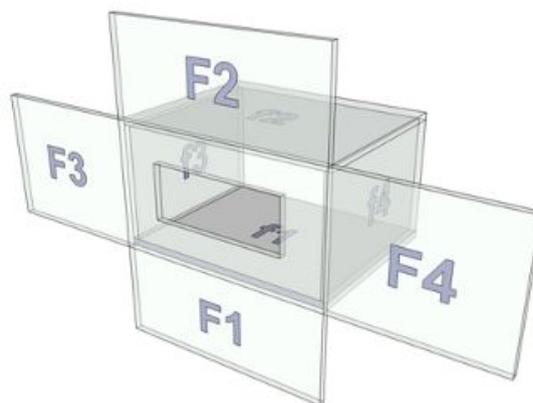


Figura 41. Modelo DB-HR para aislamiento exterior de fachada, calle.

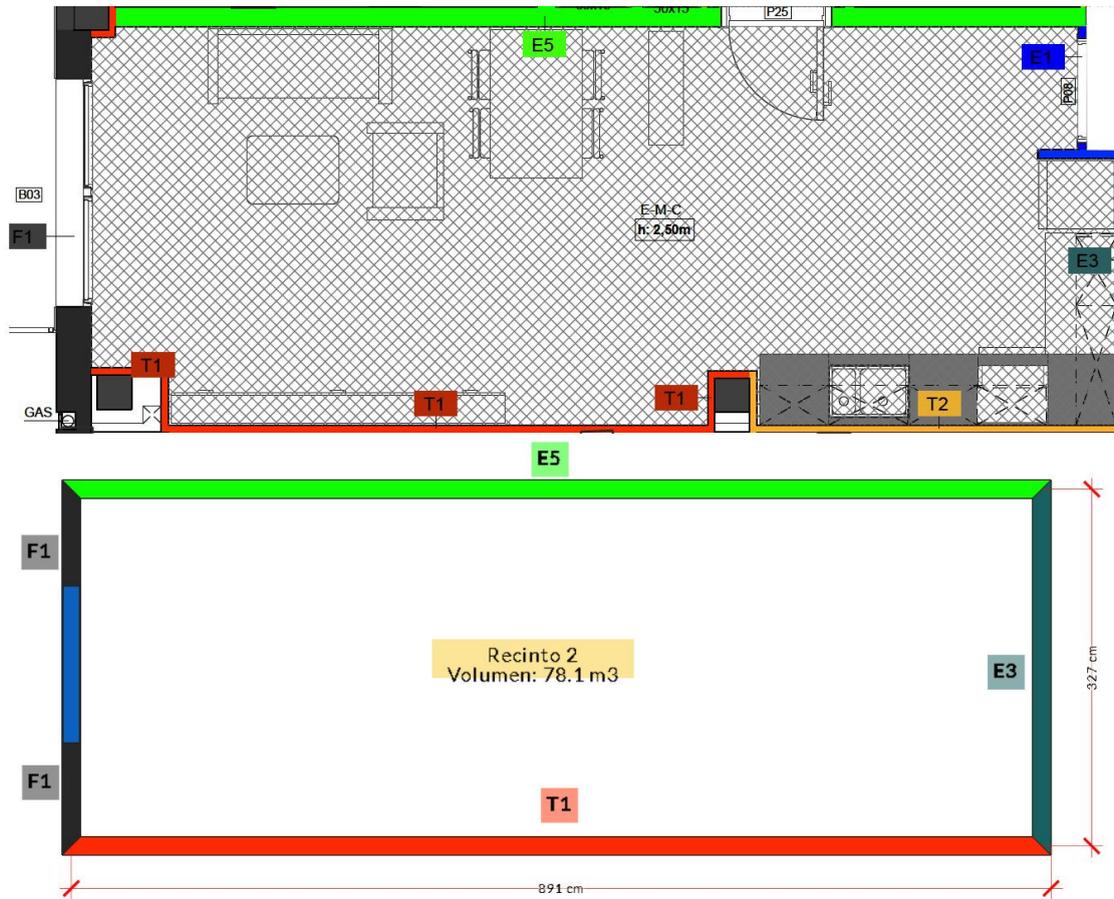


Figura 42. Plano real habitación EMC de P1p2 | Adaptación plano para DB-HR.

| Características técnicas Fachada Calle | | | |
|--|---------------|------------|------|
| Sección fachada directa | Unidad de uso | Superficie | 9.98 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|-----------------------|-------------|-------------------------------------|---------------|
| Sección Separador | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Elemento Fachada (F1) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Elemento Fachada (F2) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Elemento Fachada (F3) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Elemento Fachada (F4) | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |

Tabla 21. Composición de elementos de la fachada exterior.



| Características técnicas del recinto 1 1-2 (EMC) | | | |
|--|---------------|---------|------|
| Tipo de recinto como emisor | Unidad de uso | Volumen | 78.1 |

| Elemento | Código CTE | Composición | Revestimiento |
|-------------------|----------------|--|------------------|
| Sección Separador | F3.8.a (F1) | RE 15 + LC 240 + SP 10 + LR + YL 15 | - |
| Suelo (f1) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | AC + M50 + LR 20 |
| Techo (f2) | Fo.R.5 | R_BH 300 mm | YL 15 + C |
| Pared (f3) | No consta (E5) | YL 15 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + LR 48 + YL 15 + YL 15 | - |
| Pared (f4) | F13.5.a (T1) | H + 15 YL + 48 LR | - |

Tabla 22. Composición de elementos del recinto 1.

| Tipos de uniones e índices de reducción vibracional | | | | |
|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Encuentro | Tipo de unión de elementos | K _{Ff} | K _{Fd} | K _{Df} |
| Fachada - Suelo | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 3) | 5.7 | 6.8 | 5.7 |
| Fachada - Techo | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 3) | 5.7 | 6.8 | 5.7 |
| Fachada - Pared | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 2) | 8.4 | -1.1 | 8.4 |
| Fachada - Pared | Rígida T de elementos homogéneos (orientación 2) | 5.8 | 3.7 | 5.8 |

Tabla 23. Tipo de uniones entre recinto 1 y fachada calle.

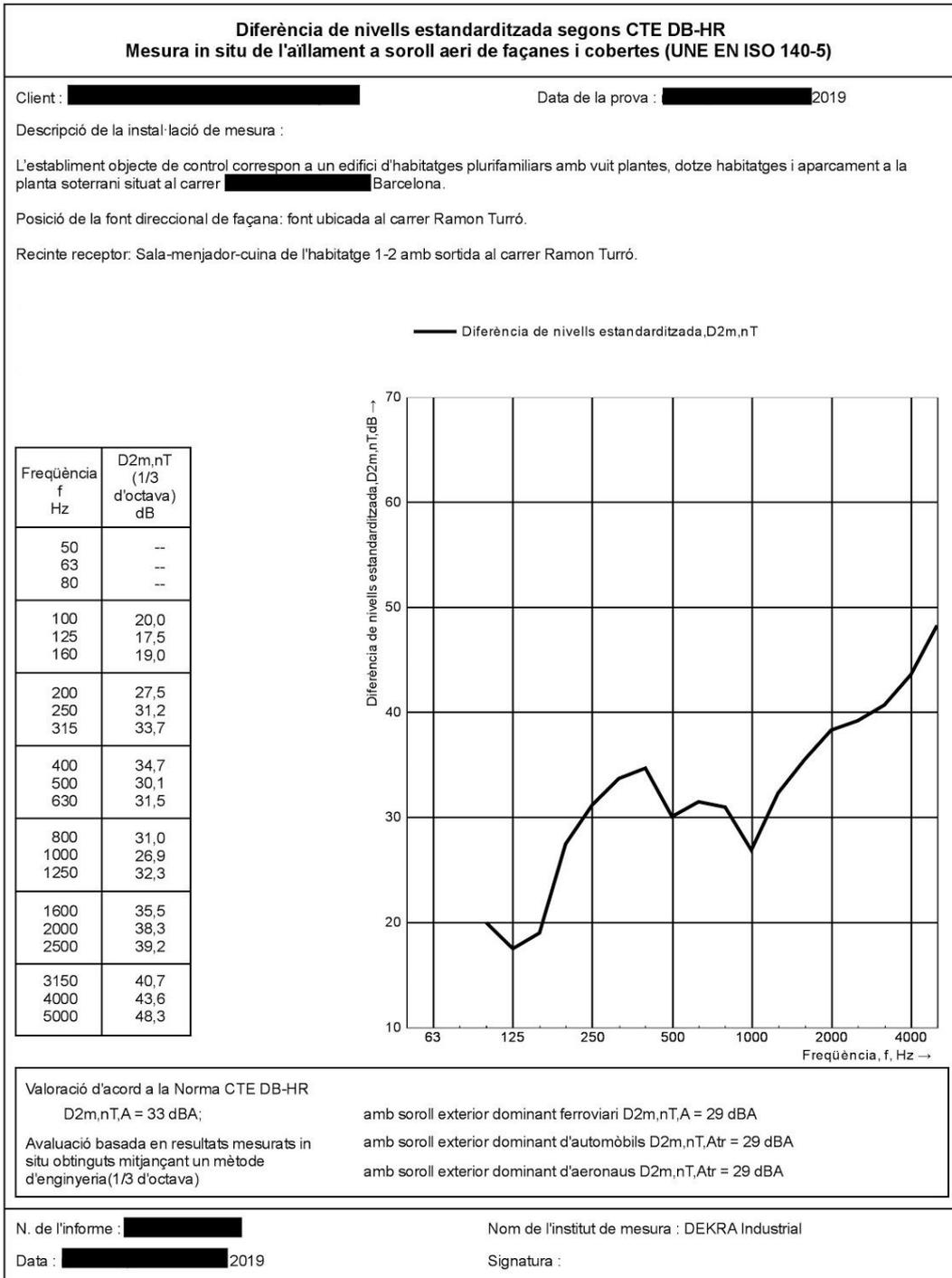


Figura 43. Extracto del informe oficial correspondiente al ensayo AF-04.



Comparación:

En ambos casos, tanto en la simulación previa como con los resultados obtenidos a partir de las mediciones in situ se ha conseguido superar el requisito de la Norma del Código Técnico de Edificación que son 32 dB.

Con la simulación se pronosticó en su día un aislamiento de 37 dB para la puerta de cristal, mientras que con las mediciones in situ se han obtenido 29 dB* con sonido exterior dominante de automóviles, lo que deja una diferencia de 8 dB.

En este caso de aislamiento de fachada la diferencia aumenta en comparación al mismo ensayo realizado para el elemento de la fachada interior y en relación al resto de aislamientos a ruido aéreo. Lo que se dedujo junto al tutor de empresa fue que para este caso en el que la fachada da a una calle, las uniones cobran mucha importancia, una importancia que con la herramienta de cálculo DB-HR se omite para este tipo de casos. Como hemos mencionado en anteriores ensayos, gran parte del sonido se transmite por las uniones que hay entre elementos, a la hora de adaptar el recinto receptor, se han omitido hasta 3 uniones en el flanco que da a la calle, estas adaptaciones conlleva que el sonido transmitido a la habitación sea considerablemente menor si los comparamos con los datos reales obtenidos a partir de las mediciones in situ.

*En las medidas in situ se admiten tolerancias de 3 dB (A) respecto a los valores de aislamiento acústico establecido.



Capítulo 5. Conclusiones y propuestas de trabajos futuro

Una vez llevadas a cabo las diferentes tareas que nos habíamos propuesto al comienzo de este trabajo final de grado, tenemos una visión global de las diferentes fases que se han desarrollado hasta llegar a analizar los resultados de las simulaciones junto a los resultados de las mediciones in situ, de esto se concluye que:

- El ministerio de fomento proporciona con la herramienta de cálculo DB-HR un software intuitivo, con una gran base de datos de elementos de construcción que contribuye a que los resultados de las simulaciones sean precisos dependiendo el tipo de ensayo.
- En simulaciones de aislamiento acústico a ruido aéreo entre locales y de elementos de fachada se puede concluir que la herramienta de cálculo DB-HR tiene en la mayoría de casos una precisión de ± 4 dB, un margen de error pequeño, que con futuras actualizaciones es de esperar que se estreche.
- Los resultados obtenidos para las simulaciones de aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos distan mucho de las de in situ, sacando a la luz las carencias de este programa, siendo el principal contratiempo el limitado número de ejemplos de casos con los que contamos, teniendo que adaptar la estructura de los recintos, reduciendo así el número de uniones de las aristas y por ende las vías de transmisión del sonido.

En este punto también es necesario exponer futuras mejoras del TFG que han ido surgiendo a medida que íbamos avanzando con él. Como se trata de un proyecto real en un campo como es el acústico en el que las herramientas como ordenanzas se van actualizando a medida que la tecnología y la sociedad van cambiando estamos ante la obligación (como ingenieros) de perfeccionar los métodos con los que se trabajan en el sector.

Algunas propuestas de trabajo futuro serían:

- Utilizar un programa diferente para los aislamientos al ruido de impactos, por ejemplo INSUL [17], un software de pago desarrollado para la predicción de aislamientos.
- Proponer soluciones constructivas que mejoren las condiciones acústicas de todos los recintos estudiados.



Capítulo 6. Bibliografía

- [1] **Cadena SER** <<Uno de cada cuatro españoles sufre alto nivel de ruido>> Abril de 2019
https://cadenaser.com/ser/2019/04/23/ciencia/1556024778_491525.html
- [2] **DEKRA** <<Certificación de sistemas de gestión>>
<https://www.DEKRA.es/es/certificacion-sistemas-de-gestion/>
- [3] **Ministerio de Fomento**. Documento Básico HR. Protección frente al ruido.
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/DBHR.pdf>
- [4] **Ajuntament de Barcelona** <<Butlletí Oficial de la Província de Barcelona>> 2 Mayo de 2011
<https://bop.diba.cat/scripts/ftpisa.aspx?fnew?bop2011&05/022011010381.pdf>
- [5] **ISO**. 140-4 *Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Mediciones in situ del aislamiento al ruido aéreo entre locales*: International Organization for Standardization, 1999.
- [6] **ISO**. 140-5 *Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y fachada*: International Organization for Standardization, 1999.
- [7] **ISO**. 140-7 *Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Mediciones in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impacto*: International Organization for Standardization, 1999.
- [8] **CESVA**. Sonómetro SC-420
<https://www.cesva.com/es/productos/sonometros/sc420/>
- [9] **CESVA**. Calibrador CB006
<https://www.cesva.com/es/productos/calibradores/cb006/>
- [10] **TESTO**. Anemómetro 410-2
<https://www.testo.com/es-ES/anemometro-testo-410-2/p/0560-4102>
- [11] **Trotec24**. Medidor Laser
<https://www.trotec24.es/medidores/planificar-y-medir/metro-laser>
- [12] **CESVA**. Fuente de Ruido AP601
<https://www.cesva.com/es/productos/fuentes-de-ruido/ap601/>
- [13] **CESVA**. Altavoz Omnidireccional BP012
<https://www.cesva.com/es/productos/fuentes-de-ruido/bp012/>
- [14] **CESVA**. Máquina de impactos MI005
<https://www.cesva.com/es/productos/fuentes-de-ruido/mi005/>
- [15] **JBL**. Altavoz direccional PRX812W
https://www.jblpro.com/ProductAttachments/JBL_PRX812W_SpecSheet.pdf



- [15] **Ministerio de Fomento**. Catálogo de Elementos de Constructivos.
https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/aplicaciones/nCatalog_infoEConstr/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf
- [16] **Ministerio de Fomento**. Código Técnico de la Edificación.
<https://www.codigotecnico.org/index.html>
- [16] **ATEDY** <<Sistemas constructivos con PYL>>
<http://www.atedyplacayeso.com/documentacion.php>
- [17] **Marshall day acoustics**. Software Insul.
<http://www.insul.co.nz/>



Capítulo 7. Anexos

- Leyenda

| | |
|------|---------------------------------|
| YL | Yeso Laminado |
| LR | Lana de Roca |
| R_BH | Casetón de hormigón |
| RE | Revestimiento exterior continuo |
| LC | Fábrica de ladrillo cerámico |
| SP | Separación de 10 mm. |
| AT | Aislante no hidrófilo |
| H | Hoja de hormigón |

- Parámetros utilizados en las simulaciones

AA-06

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 1 del ensayo AA-06.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|----------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m^2_i (kg/m) | R_A (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_A (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{Atr} (dBA) |
| Separador | 11.03 | - | 66.2 | 60.3 | - | - | - | - |
| Suelo (F1) | 10.5 | 4.04 | 385 | 56 | 73 | 8 | 30 | - |
| Techo (F2) | 10.5 | 4.04 | 385 | 56 | 73 | 5 | 5 | - |
| Fachada (F3) | 7.1 | 2.73 | 292 | 61 | - | - | - | - |
| Pared (F4) | 7.1 | 2.73 | 66.2 | 60.3 | - | - | - | - |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | 30 | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | 5 | 2 |

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 2 del ensayo AA-06.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|--------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m_i (kg/m) | R_A (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_A (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{Atr} (dBA) |
| Separador | 11.03 | - | 66.2 | 60.3 | - | - | - | - |
| Suelo (f1) | 12.82 | 4.04 | 385 | 56 | 73 | 6 | 30 | - |
| Techo (f2) | 12.82 | 4.04 | 385 | 56 | 73 | 5 | 5 | - |
| Fachada (f3) | 2.73 | 2.73 | 292 | 61 | - | - | - | - |
| Pared (F4) | 2.97 | 2.73 | 66.2 | 60.3 | - | - | - | - |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | 30 | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | 5 | 2 |

AA-07

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 1 del ensayo AA-07.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|--------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m_i (kg/m) | R_A (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_A (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{Atr} (dBA) |
| Separador | 8.71 | - | 66.2 | 60.3 | - | - | - | - |
| Suelo (F1) | 8.5 | 3.25 | 385 | 56 | 73 | 6 | 30 | - |
| Techo (F2) | 8.5 | 3.25 | 385 | 56 | 73 | 5 | 5 | - |
| Fachada (F3) | 6.97 | 2.68 | 292 | 61 | - | - | - | - |
| Pared (F4) | 6.97 | 2.68 | 26 | 43 | - | - | - | - |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | 30 | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | 5 | 2 |

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 2 del ensayo AA-07.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|--------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m_i (kg/m) | R_A (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_A (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{Atr} (dBA) |
| Separador | 8.71 | - | 66.2 | 60.3 | - | - | - | - |
| Suelo (f1) | 12.21 | 3.25 | 385 | 56 | 73 | 6 | 30 | - |
| Techo (f2) | 12.21 | 3.25 | 385 | 56 | 73 | 5 | 5 | - |
| Fachada (f3) | 6.16 | 2.68 | 66.2 | 60.3 | - | - | - | - |
| Pared (f4) | 6.16 | 2.68 | 26 | 43 | - | - | - | - |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | 30 | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | 5 | 2 |

AA10

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 1 del ensayo AA-10.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|--------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m_i (kg/m) | R_A (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_A (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{Atr} (dBA) |
| Separador Suelo | 10.1 | - | 385 | 56 | 73 | 8 | 30 | - |
| Pared (F1) | 9.35 | 3.49 | 26 | 43 | - | 9 | - | - |
| Tabiquería (F2) | 9.35 | 3.49 | 227 | 50 | - | - | - | - |
| Fachada (F3) | 8.76 | 3.27 | 292 | 61 | - | - | - | - |
| Flanco Suelo (F4) | 1.34 | 3.27 | 385 | 56 | - | 8 | - | - |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | - | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | - | 2 |

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 2 del ensayo AA-10.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|----------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m^2_i (kg/m) | R_A (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_A (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{Atr} (dBA) |
| Separador Suelo | 10.1 | - | 385 | 56 | 73 | 5 | 5 | - |
| Pared (f1) | 8.41 | 3.49 | 26 | 43 | - | 9 | - | - |
| Tabiquería (f2) | 8.41 | 3.49 | 227 | 50 | - | - | - | - |
| Fachada (f3) | 8.93 | 3.27 | 292 | 61 | - | - | - | - |
| Pared (f4) | 8.93 | 3.27 | 184 | 53 | - | 6 | - | - |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | 30 | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | 5 | 2 |

AA11- AI02

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 1 de los ensayos AA-11 y AI-02

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|----------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m^2_i (kg/m) | R_A (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_A (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{Atr} (dBA) |
| Separador Suelo | 11.4 | - | 385 | 56 | 73 | 6 | 30 | - |
| Tabiquería (F1) | 11.9 | 4.44 | 227 | 50 | - | 10 | - | - |
| Pared (F2) | 11.9 | 4.44 | 26 | 43 | - | - | - | - |
| Pared (F3) | 6.89 | 2.57 | 26 | 43 | - | - | - | - |
| Fachada (F4) | 6.89 | 2.57 | 292 | 61 | - | - | - | - |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | - | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | - | 2 |

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 2 del ensayo AA-11 y AI-02.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|----------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m^2_i (kg/m) | R_A (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_A (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{Atr} (dBA) |
| Separador Techo | 11.4 | - | 385 | 56 | 73 | 5 | 5 | - |
| Tabiquería (F1) | 11.9 | 4.44 | 26 | 43 | - | 10 | - | - |
| Pared (F2) | 11.9 | 3.49 | 227 | 50 | - | - | - | - |
| Pared (F3) | 6.89 | 3.27 | 292 | 61 | - | - | - | - |
| Fachada (F4) | 6.89 | 3.27 | 184 | 53 | - | 6 | - | - |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | 30 | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | 5 | 2 |

AI-03

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 1 del ensayo AI-03.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|----------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m^2_i (kg/m) | R_A (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_A (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{Atr} (dBA) |
| Separador Suelo | 10.18 | - | 385 | 56 | 73 | 8 | 30 | - |
| Pared (F1) | 5.87 | 2.19 | 292 | 61 | - | - | - | - |
| Pared (F2) | 5.87 | 2.19 | 26 | 43 | - | - | - | - |
| Pared (F3) | 12.46 | 4.65 | 227 | 50 | - | 10 | - | - |
| Fachada (F4) | 12.46 | 4.65 | 26 | 43 | - | - | - | - |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | - | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | - | 2 |

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 2 del ensayo AI-03.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|--------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m_i (kg/m) | R_a (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_a (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{atr} (dBA) |
| Separador Techo | 10.18 | - | 385 | 56 | 73 | 5 | 5 | - |
| Pared (F1) | 5.87 | 2.19 | 292 | 61 | - | - | - | - |
| Pared (F2) | 5.87 | 2.19 | 26 | 43 | - | - | - | - |
| Pared (F3) | 12.46 | 4.65 | 227 | 50 | - | 10 | - | - |
| Fachada (F4) | 12.46 | 4.65 | 26 | 43 | - | - | - | - |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | - | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | - | 2 |

AF-01

Parámetros acústicos pertenecientes a los elementos de fachada del ensayo AF-01.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------|--------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m_i (kg/m) | R_a (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_a (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{atr} (dBA) |
| Sección Separador | 8.06 | - | 292 | 56 | - | - | - | - |
| Elemento Fachada (F1) | 8.06 | 2.6 | 292 | 56 | - | - | - | - |
| Elemento Fachada (F2) | 8.06 | 2.6 | 292 | 56 | - | - | - | - |
| Elemento Fachada (F3) | 7.75 | 3.1 | 292 | 56 | - | - | - | - |
| Elemento Fachada (F4) | 8.65 | 3.1 | 292 | 56 | - | - | - | - |
| VENTANA | 1.89 | - | - | 27 | - | 31 | - | 0 |

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 1 del ensayo AF-01.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|--------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m_i (kg/m) | R_a (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_a (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{atr} (dBA) |
| Sección Separador | 8.06 | - | 292 | 56 | - | - | - | - |
| Suelo (f1) | 10.5 | 2.6 | 385 | 51 | - | - | - | 6 |
| Techo (f2) | 10.5 | 2.6 | 385 | 51 | - | - | - | 2 |
| Pared (f3) | 12.52 | 3.1 | 26 | 36 | - | - | - | - |
| Pared (f4) | 12.52 | 3.1 | 66.2 | 52 | - | - | - | - |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | 30 | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | 5 | 2 |

AF04

Parámetros acústicos pertenecientes a los elementos de fachada del ensayo AF-04.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------|--------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m_i (kg/m) | R_a (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_a (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{atr} (dBA) |
| Sección Separador | 9.98 | - | 321 | 56 | - | - | - | - |
| Elemento Fachada (F1) | 10.14 | 3.27 | 321 | 56 | - | - | - | - |
| Elemento Fachada (F2) | 9.98 | 3.27 | 321 | 56 | - | - | - | - |
| Elemento Fachada (F3) | 6.4 | 3.05 | 321 | 56 | - | - | - | - |
| Elemento Fachada (F4) | 18.9 | 3.05 | 321 | 56 | - | - | - | - |
| VENTANA | 4.2 | - | - | 27 | - | 28 | - | -2 |

Parámetros acústicos pertenecientes al recinto 1 del ensayo AF-04.

| Parámetros Acústicos | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|--------------|-------------|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | S_i (m ²) | l_i (m) | m_i (kg/m) | R_a (dBA) | $L_{n,w}$ (dB) | ΔR_a (dBA) | ΔL_w (dB) | ΔR_{Atr} (dBA) |
| Sección Separador | 9.98 | - | 321 | 56 | - | - | - | - |
| Suelo (f1) | 29.14 | 3.27 | 385 | 51 | - | - | - | 4 |
| Techo (f2) | 29.14 | 3.27 | 385 | 51 | - | - | - | 0 |
| Pared (f3) | 23.88 | 3.05 | 66.2 | 52 | - | - | - | - |
| Pared (f4) | 23.88 | 3.05 | 227 | 45 | - | - | - | 7 |
| AC + M50 + LR 20 | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 6 | 30 | 4 |
| YL 15 + C | 8.5 | 3.25 | - | - | - | 5 | 5 | 2 |

Fotografía realizando mediciones in situ de aislamiento de tipo aéreo.

