



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA D'EDIFICACIÓ

---

# ESTUDIO DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN EL AULA MASTER DEL EDIFICIO 1C

---

Taller Científico-Técnico I-24, Proyecto Fin de Grado

**INMACULADA AROCAS CORRECHER**

Julio 2011

**Tutores**

**Vicente Gómez Lozano**

**Salvadora Reig García San Pedro**

## ÍNDICE

1. RESUMEN. INTRODUCCIÓN.
2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.
3. CONCEPTOS FÍSICOS.
4. MÉTODOS UTILIZADOS PARA MEJORAR LA ACÚSTICA.
5. MATERIALES.
6. NORMATIVA. DEFINICIONES DE PARÁMETROS DE AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.
7. EQUIPO DE MEDICIÓN.
8. METODOLOGÍA DE MEDIDA. TABLAS DE DATOS.
9. ELABORACIÓN DE RESULTADOS. GRÁFICAS.
10. CONCLUSIONES.
11. INFORMES DE CUMPLIMIENTO DE CÓDIGO TÉCNICO.
12. ANEXOS.
13. BIBLIOGRAFÍA.

## 1. RESUMEN. INTRODUCCIÓN.

Las crecientes exigencias de calidad en lo que se refiere a confort acústico han hecho que las nuevas Normativas implantadas endurezcan los valores admisibles de percepción de ruidos dependiendo del tipo de local del que se trate y de la actividad que en él se desarrolle.

Tomando como base el Código Técnico de la Edificación pueden evaluarse las características de acondicionamiento acústico para valorar el comportamiento de las particiones de una estancia objeto de estudio, considerando también los materiales que las conforman.

A partir de distintas mediciones de niveles de presión sonora en situaciones de fuente acústica en funcionamiento y de niveles de ruido de fondo, pueden obtenerse una serie de parámetros que permiten el cálculo de la absorción y aislamiento aéreo de los paramentos delimitadores del aula en función de sus características geométricas y de su tiempo de reverberación, en función de si están separados del exterior o del interior. Con ello se puede caracterizar acústicamente el espacio objeto de estudio. De un modo análogo se hace un tratamiento para las mediciones tomadas en ruido de impacto.

El objetivo de este proyecto es aprender la metodología de medición de parámetros acústicos, y de expresión de sus resultados, para con estas mediciones y su posterior tratamiento conocer en qué medida afecta el ruido emitido en el exterior del aula a las actividades que en ella se desarrollan, y de modo parecido, saber cómo el ruido que tiene su origen en un local se transmite hacia otro dependiendo de la capacidad aislante o absorbente de las particiones delimitadoras, así como familiarizarse con la Normativa que le es de aplicación.

## 2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Desde la Antigüedad se sabe que algunos sonidos y sus combinaciones son agradables puesto que el canto y la música se encuentran en todas las culturas como arte. Los Pitagóricos ya experimentaban con el monocordio y construían su gama musical con cuerdas de longitudes proporcionales a los números 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{3}{2}$  y sus potencias, siendo el primer paso para estudiarla de forma científica.

Aristóteles (384 a 322 a. C.) comprobó que el sonido consistía en contracciones y expansiones del aire próximo, y que el tiempo de oscilación o periodo de una cuerda es proporcional a su longitud. Su magnitud inversa, la frecuencia, o número de vibraciones por segundo, es característica de cada tono. No se sabe desde cuándo se conoce esta relación entre el tono y la frecuencia.

El arquitecto romano Marco Vitrubio Pollio alrededor del año 20 a. C. escribió un tratado sobre las propiedades acústicas de los teatros, incluyendo temas como la interferencia, los ecos y la reverberación, que supuso el comienzo de la acústica arquitectónica.

Galileo (1564-1642) menciona en sus *Discorsi*: "Las ondas son producidas por las vibraciones de un cuerpo sonoro, que se difunden por el aire, llevando al tímpano del oído un estímulo que la mente interpreta como sonido", sentando así el comienzo de la acústica fisiológica. También él describe el fenómeno de resonancia, por el cual si dos cuerdas tensas iguales están próximas basta hacer vibrar una para que la otra también oscile al recibir el sonido de la primera. Él y Mersenne (1588-1648) estudiaron de forma independiente las leyes de la cuerda vibrante.

En el siglo XVII se midió experimentalmente la velocidad del sonido en el aire, y posteriormente Jean-Daniel Collandon, Charles Francois Sturm además de Jean Baptiste Biot la midieron en líquidos.

Mientras tanto, Newton (1642-1727) obtuvo la fórmula para la velocidad de onda en sólidos, uno de los pilares de la física acústica (*Principia Mathematica*, 1687), bautizada así por el físico francés Joseph Sauveur (1653-1716).

El siglo XVIII los grandes matemáticos de la era aplicaron nuevas técnicas de cálculo a la elaboración de la teoría de la propagación de las ondas: Christiaan Huygens en comparación con la luz y los focos secundarios, Daniel Bernoulli en los sonidos armónicos, Euler en las vibraciones, y Félix Savart en el aspecto fisiológico y aplicación a los instrumentos.

En el siglo XIX, Simeon Denis Poisson estudió las ondas transversales, Hermann Ludwig F. Helmholtz en Alemania reunió todos los avances aportados hasta el momento y consolidó la acústica fisiológica, y Lord Rayleigh en Inglaterra combinó los conocimientos previos con aportaciones propias en su obra *The Theory of Sound*. También durante ese siglo Kundt indicó que el aire en un tubo puede vibrar con la frecuencia fundamental y sus múltiplos, Weber estudió experimentalmente las ondas mediante superficies líquidas, y Wheatstone, Ohm y Henry desarrollaron la analogía entre electricidad y acústica. Una consecuencia interesante es el efecto descrito por Christian Doppler en 1842, que es la variación de la frecuencia percibida cuando cambia la posición relativa entre la fuente de la onda y el receptor: al aproximarse los focos, los frentes de onda se juntan, y aumenta la frecuencia percibida y cuando se alejan los focos se separan los frentes de onda, disminuyendo la frecuencia percibida.

Durante el siglo XX aparecieron muchas aplicaciones tecnológicas del conocimiento científico previo. La primera fue el trabajo de Sabine en la acústica arquitectónica. La acústica subacuática fue utilizada para detectar submarinos en la Primera Guerra Mundial. La grabación sonora y el teléfono fueron decisivos para la transformación de la sociedad global. La medición y análisis del sonido alcanzaron nuevos niveles de precisión y sofisticación a través del uso de la electrónica y la informática. El uso de las frecuencias ultrasónicas permitió nuevos tipos de aplicaciones en la medicina y la industria. También se inventaron nuevos tipos de transductores (generadores y receptores de energía acústica), y la electroacústica ha permitido un análisis más detallado de los sonidos e incluso su síntesis.

### 3. CONCEPTOS FÍSICOS

Para introducir el tema de la acústica se parte del concepto de ondas, de vibraciones, que son movimientos de vaivén que se presentan siempre que un cuerpo o una porción de un cuerpo se separan de su posición de equilibrio estable. Estos movimientos oscilantes repetitivos se producen siempre como resultado de dos efectos. Por una parte, al separar un cuerpo de su posición de equilibrio aparece una fuerza restauradora que tiende a que vuelva a su posición primitiva. Por otra parte, la inercia obliga al cuerpo a sobrepasar la posición de equilibrio, con lo que vuelve a encontrarse fuera del equilibrio pero en sentido contrario, repitiéndose el proceso. Los movimientos oscilatorios pueden ser muy complicados, pero sus características más notables pueden describirse con idealizaciones apropiadas de fenómenos reales. El más sencillo de ellos es el oscilador armónico. Una onda se describe mediante una función senoidal en cuyo argumento aparecen la frecuencia angular o pulsación (cuántos ciclos se repiten en un segundo), el tiempo, la longitud de onda (distancia entre dos puntos consecutivos en el mismo estado de oscilación) y la fase inicial y cuyos valores máximos quedan acotados por la amplitud del movimiento, que es la desviación máxima que puede alcanzarse respecto de la posición de equilibrio.

$$y = A \cdot \text{sen}(\omega t - \lambda x + \varphi)$$

Este tipo de onda mantiene una doble periodicidad, ya que avanza una distancia equivalente a la longitud de onda  $\lambda$  en un tiempo igual al periodo  $T$  (tiempo que tarda en describir un ciclo completo).

Pero en la realidad un movimiento no se repite indefinidamente, ya que por pérdidas de energía debidas a rozamiento, se puede hablar de movimientos amortiguados, en los que la amplitud va disminuyendo y pone un límite temporal a la oscilación.

El sonido no es más que compresiones y dilataciones de las moléculas del medio en el que se transmite, una va golpeando a la contigua de forma que va transmitiendo su vibración. El oído humano percibe los sonidos porque finalmente esta vibración incide sobre la membrana del tímpano, para posteriormente ser procesado por el cerebro como señal nerviosa y eléctrica. La onda se transmitirá a la velocidad que le permita la impedancia del medio, que es la resistencia que opone el medio material a la propagación del sonido.

Puede caracterizarse físicamente un sonido mediante los conceptos de frecuencia, nivel y espectro, que se traducen en una sensación percibida, respectivamente de tono, sonoridad y timbre, que es la propiedad que permite distinguir si el sonido procede de un instrumento u otro.

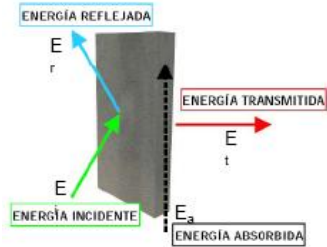
Se habla de tono puro cuando es un sonido con una frecuencia fundamental, periódico en el tiempo.

Un sonido ordenado puede no obedecer a una ecuación senoidal, pero sí descomponerse como suma de ellas, mediante análisis de Fourier, de forma que dicho sonido periódico sea la suma de sonidos elementales.

Un sonido no ordenado o aleatorio tiene componentes en frecuencia que son variables y que no corresponden a ninguna frecuencia en particular.

El sonido de tráfico puede asumirse que tiene ciertos niveles aproximadamente constantes en ciertas bandas de frecuencia. El ruido rosa es aquel que tiene un nivel constante en todo el espectro.

Debido al amplio rango de intensidades o de potencia de sonido, se expresan las medidas de forma logarítmica, y se habla de niveles de presión, de manera que se puedan manejar magnitudes más cómodamente. Así, la suma de niveles se hará mediante composición energética, es decir, con logaritmos.

	<p style="text-align: center;"><b>Coefficiente de absorción</b></p> $0 \leq \alpha = \frac{E_a}{E_i} \leq 1$ <p style="text-align: center;"> <span style="margin-right: 100px;">↓</span> reflectante      <span>↓</span> absorbente </p>
<p>Al incidir en la interfase de dos medios, la onda sonora incidente puede absorberse en la propia separación, reflejarse y volver al primer medio, o transmitirse hacia el segundo miembro.</p>	<p>El coeficiente de absorción se define como la energía que se absorbe respecto del total de la energía que incide.</p>

Hay tres tipos de mecanismos de absorción, y cada uno de ellos es aplicable a un rango de frecuencias distinto.

- Mecánica. En las membranas la energía incidente pone a vibrar un elemento superficial, con una frecuencia natural de vibración que depende de la masa superficial y de la distancia de colocación al cerramiento rígido. En los resonadores, la energía acústica pone en vibración los volúmenes de aire conectados con el recinto.
- Deformación plástica de materiales blandos debido a la energía acústica.
- Transformación de la energía acústica en calor mediante rozamiento viscoso (fluido-sólido ley de Stokes  $f_r \propto v_r^2$ ): como en los materiales porosos o fibrosos.

Se define la absorción total (Sabine, m<sup>2</sup>) como  $A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^m N_j \cdot A_j$

Donde  $\alpha_i$  es el coeficiente de absorción de la superficie  $S_i$  y  $N_j$  los elementos individuales de absorción  $A_j$ .

El coeficiente de absorción medio es una magnitud adimensional acotada entre 0 y 1, definida como  $\bar{\alpha} = \frac{A}{S}$ , donde S es la superficie total de todos los paramentos (paredes y techos) del local estudiado.

Otros conceptos a tener en cuenta y que están relacionados con este estudio son:

- CAMPO DIRECTO: el provocado por la propia fuente.
- CAMPO DIFUSO: campo acústico que aporta la misma densidad de energía en todas las direcciones de propagación.
- REFLEXIÓN: la energía es devuelta al medio del que vino. Para potenciar el sonido directo en salas grandes.
- REVERBERACIÓN: persistencia de la energía sonora.
- ECO: la onda reflejada es de tal intensidad que se percibe como un sonido separado del directo.

## 4. MÉTODOS UTILIZADOS PARA MEJORAR LA ACÚSTICA

El ruido es un subproducto de la generación de potencia, el avance de los sistemas de generación de energía está asociado con el progreso tecnológico, muestra de ello son los sistemas de aire acondicionado, de aireación, los transformadores eléctricos... Este ruido produce molestias e incluso puede modificar los umbrales de audición bajo ciertas condiciones de exposición. Pero dado que no se puede eliminar completamente el ruido, se trata de reducirlo hasta niveles aceptables.

Las técnicas de control de ruido empleadas a tal fin pueden englobarse en cuatro tipos fundamentales: activas, pasivas, pasivas adaptativas e híbridas pasivas-activas.

Los sistemas pasivos aprovechan las propiedades absorbentes de algunos materiales y no añaden energía adicional al sistema. Incluyen absorbentes superficiales, silenciadores reactivos, materiales porosos, montajes antivibratorios, resonadores, etc. Existen soluciones efectivas y económicas a *frecuencias medias y altas*. Se basan fundamentalmente en la introducción de un material que interrumpa de alguna manera la propagación del campo sonoro, mediante una discontinuidad de impedancia o con un panel con mucha densidad superficial de masa absorbiendo energía y dificultando la propagación del campo acústico.

Los sistemas pasivos adaptativos usan elementos pasivos optimizados en ciertas condiciones, como por ejemplo el resonador de Helmholtz adaptativo para banda estrecha, cuyo volumen interior puede variarse. Los sistemas semiactivos están constituidos con elementos cuyas propiedades cambian adaptativamente.

Los sistemas activos introducen energía externa a la situación del ruido, que se aprovecha para generar, a través de alguna fuente secundaria, un campo de ondas en contrafase con el campo primario, e interferirlo destructivamente en condiciones lineales, reduciendo el campo residual. Se emplean a *bajas frecuencias*. Existen técnicas en desarrollo para el control del ruido de baja frecuencia en conductos, en recintos, ruido estructural, ruido difractado y en la cavidad auditiva. Las técnicas activas constan de una parte acústica, de un hardware y de un software de control. La parte acústica incluye los sensores del campo primario y las fuentes del secundario. El hardware lo constituye un procesador digital de señales (DSP) y el software un programa de control que adquiere las señales de entrada, las procesa en el DSP y calcula las señales de salida, teniendo en cuenta los aspectos espaciales y la naturaleza espectral de las perturbaciones.

La diferencia fundamental entre los sistemas pasivos y los activos es que mientras los pasivos son estables, los activos al introducir energía exterior pueden inestabilizar su funcionamiento.

Dado que los sistemas activos y pasivos resultan efectivos a distintas frecuencias, un sistema que pretenda controlar una *banda ancha* ha de ser un sistema híbrido pasivo-activo. En realidad la mayor parte de los sistemas activos usan algún elemento pasivo para complementar el margen de frecuencias cubierto por ambos.

Para un correcto control de la fuente del ruido hay que conocer antes sus características temporales, frecuenciales y espaciales. En lo que respecta al tiempo los ruidos se pueden clasificar según:

Tipos de ruido	Impulsivo	Impulsos aislados		
		Impulsos repetitivos		
	No impulsivo	Determinista	Transitorio	
			Continuo	Periódico
		Aleatorio	No periódico	
			Estacionario	
		No estacionario		

Hay que señalar que en muchas aplicaciones el ruido tiene un carácter mezclado, en un espectro con unas componentes estrechas (picos) sobre un fondo de banda ancha (ruido aleatorio), así por ejemplo el ruido de un ventilador tiene unas componentes periódicas correspondientes al paso de las paletas, sobre un fondo de ruido continuo. Desde el punto de vista de su contenido en frecuencia, el ruido puede ser de banda ancha o estrecha. Un ruido de banda estrecha suele corresponderse con un ruido periódico, mientras que un impulso suele tener un espectro de banda ancha. En cuanto a su direccionalidad, generalmente los ruidos de baja frecuencia suelen ser omnidireccionales y los de alta suelen radiar en algunas direcciones preferidas.

También es interesante clasificar los tipos de ruido según su fuente:

Fuentes de ruido	Tráfico	Tráfico rodado
		Aviones
		Trenes
	Industrial	
	Comunitario	
	Naturales	
	Ambiental	

En primer lugar es necesario identificar la fuente de ruido, bien sea midiendo, si la fuente ya existe o bien con una modelización o una predicción si es que no existe. Los resultados de la medida o del modelo han de ser comparados con los niveles máximos permitidos, de acuerdo con la normativa vigente. Si los niveles de ruido exceden los máximos permitidos es necesario acometer alguna medida de control del ruido. Siempre que sea posible, es conveniente comenzar por medidas de control pasivo, y en general se pueden aplicar en la fuente, en el medio de propagación o en el receptor.

## CONTROL PASIVO DEL RUIDO

### CONTROL PASIVO EN LA FUENTE

Siempre que sea viable, es el método más efectivo y en muchas ocasiones el más barato. Como principio general, el ruido puede ser reducido más eficazmente cuanto más cerca está de la fuente, ya que la superficie sobre la que se extiende el ruido se incrementa con el cuadrado de la distancia desde la fuente. Existen tres medidas de control pasivo en la fuente: el diseño de maquinaria silenciosa, el cerramiento de la fuente de ruido y el amortiguamiento.

La técnica de diseño de maquinaria no ruidosa es muy compleja y sofisticada, y tiene sus limitaciones, ya que sólo una pequeña parte de la potencia involucrada en el funcionamiento de una máquina es radiada en forma de ruido. Como recomendaciones generales se puede mencionar:

- Mantener las tolerancias mínimas posibles.
- Equilibrar dinámicamente todas las partes rotatorias
- Aislar las piezas impactantes
- Situar la maquinaria vibrante sobre plataformas antivibratorias
- Recubrir con cerramientos revestidos de material absorbente de cierto espesor.
- Elegir apropiadamente la posición de la maquinaria

Cuando una máquina produce niveles altos de ruido es necesario considerar la posibilidad de aislarla del exterior mediante un cerramiento. Esto no es siempre posible, porque el operario debe tener accesibilidad a la máquina, si existe flujo de entrada y salida de materiales éste no puede ser interrumpido, y pueden surgir problemas de calentamiento por falta de mantenimiento.

En ocasiones el ruido se transmite desde la fuente hacia la estructura que lo soporta a través de la zona de contacto entre ambas. La solución consiste en intercalar algún amortiguamiento que elimine la energía que se intercambia cíclicamente entre cinética y potencial en el proceso vibratorio, bien



por disipación de energía en forma de calor, bien por radiación, teniendo en cuenta que para que esté correctamente diseñado la frecuencia de resonancia del sistema debe estar muy por debajo de cualquiera de las frecuencias a amortiguar, y considerar que el sistema pasa por la frecuencia de resonancia en el arranque y la parada.

#### CONTROL PASIVO EN LA TRAYECTORIA.

En el caso del ruido estructural consiste en introducir alguna discontinuidad, que puede afectar a su solidez. Las medidas de control pasivo en este caso serán aislamiento, absorción y apantallamiento.

Un ejemplo típico de interrupción en la trayectoria como elemento de control pasivo es el suelo flotante, intercalando un material elástico absorbente, como goma, caucho, material poroso, fibra mineral o fibra de vidrio entre la estructura y el suelo de una edificación, que reducirá el ruido de impactos, evitando que el elemento constructivo del suelo esté en contacto directo con el material amortiguador, intercalando una fina capa de plástico resistente. Otro aspecto importante es evitar que se produzcan puentes acústicos o apoyos rígidos entre el suelo y la estructura.

En la misma línea de aislamiento acústico estructural se encuentran las uniones elásticas de las tuberías y sistemas de conducción de aire a las paredes del edificio. Los soportes elásticos más usados son los de goma y los de muelle. También se puede actuar sobre el propio diseño de las tuberías de conducción de aire, evitando discontinuidades bruscas en el flujo de aire o agua, utilizando ventiladores o bombas de agua en un régimen lo más lento posible, o revistiendo las tuberías con material absorbente o usando filtros acústicos.

#### Aislamiento:

El elemento más efectivo en la reducción del ruido en la trayectoria es una partición (paredes, techos y suelos). El aislamiento de un panel se puede medir o se puede predecir conociendo sus características acústicas y de flexión mediante fórmulas analíticas. El coeficiente de transmisión de una partición es el cociente entre la potencia sonora transmitida y la potencia sonora incidente. El aislamiento acústico, o la pérdida de transmisión sonora de un panel es el logaritmo del inverso del coeficiente de transmisión.

La medida del aislamiento acústico en una cámara de transmisión consta de tres pasos:

- 1- Medida de la potencia sonora incidente en el panel
- 2- Medida de la potencia sonora transmitida por el panel
- 3- Cálculo del aislamiento acústico.

Las empresas fabricantes de paneles de construcción suelen acompañar sus productos de su curva de aislamiento acústico.

En baja frecuencia, zona controlada por la masa, el aislamiento crece con una pendiente de 6dB/octava, en la zona alrededor de la frecuencia de coincidencia (en la que la energía incidente se transmite por los paramentos como una onda de flexión), el aislamiento es constante, y por encima en general el aislamiento a frecuencias altas crece con una pendiente de 10dB/octava. Para aliviar el problema de las frecuencias de resonancia conviene intercalar material absorbente entre las distintas capas.

#### Absorción:

Puede definirse el coeficiente de absorción como el cociente entre la energía absorbida y la incidente.

Los absorbentes son fundamentalmente materiales porosos, con poros de dimensiones menores de 1mm. Las moléculas de aire en los poros oscilan a la frecuencia del sonido, lo que produce pérdidas por fricción. Los cambios en la dirección del flujo y sus expansiones y contracciones en la irregularidad de los poros, producen pérdidas de momento en la dirección de propagación,

responsables de la absorción del sonido en alta frecuencia. En baja frecuencia otro mecanismo de pérdidas es la conducción de calor: las compresiones y expansiones del aire que rellena los poros producen cambios de temperatura.

El diseño de un panel poroso supone considerar por una parte que la impedancia del panel sea lo más similar posible a la del aire, lo cual requiere baja resistividad al flujo y baja densidad, pero también conviene que la atenuación sea lo más alta posible para mantener el espesor tan pequeño como se pueda, lo cual requiere una alta resistividad al flujo y alta densidad. El ángulo de incidencia juega un papel importante para alcanzar este compromiso.

#### Atenuación en conductos:

Cuando el ruido se produce en conducciones de aire, tuberías, etc, es interesante intercalar silenciadores pasivos. Existen los silenciadores reactivos y los disipativos, aunque suelen combinarse.

Las pérdidas en transmisión con este método se caracterizan por unos máximos en  $kL=(n+0.5)\pi$  y mínimos en  $kL=n\pi$ , con  $n$  un número natural. La condición de que los máximos corresponden a múltiplos impares de un cuarto de longitud de onda hace que se conozca a estos silenciadores como resonadores de cuarto de onda. Son recomendables para silenciar tonos puros, pero no para ruido de banda ancha.

#### Barreras.

Es el método empleado para reducir el impacto acústico de las vías rápidas en núcleos urbanos, puesto que atenúa pero también modifica las propiedades absorbentes del suelo. Su estudio sale del ámbito de este proyecto.

#### CONTROL PASIVO EN EL RECEPTOR.

Se emplea cuando no se puede actuar sobre la fuente o la trayectoria o se desea complementar los efectos de éstos. El  acondicionamiento acústico  supone actuar sobre el recinto en el que está inmerso el receptor. El campo sonoro en el recinto cerca de la fuente está dominado por fuertes interferencias de las ondas radiadas coherentemente por diferentes partes de la misma (campo próximo). El radio del campo próximo depende del tamaño acústico de la fuente, más allá de cierta distancia el campo decae por divergencia esférica con una pendiente de 6dB/octava (*campo libre*), y más lejos el nivel se estabiliza, puesto que esta zona está dominada por el sonido reflejado en las paredes del recinto, generando un *campo difuso*. La distancia en la que ambos campos se igualan se denomina *radio de campo libre*. El campo difuso depende del tamaño y geometría del recinto además del nivel de fuente, y cumple que en cualquier posición del mismo el sonido incide desde todas las direcciones con igual intensidad y fase aleatoria, y su intensidad no varía de una posición a otra. En cambio el campo libre está dominado por la potencia de la fuente, de modo que su control sólo es posible por los métodos mencionados antes. El acondicionamiento acústico sólo actúa sobre el campo difuso. Cuando la geometría del recinto es tal que sus dimensiones son menores que el radio de campo libre, no tiene sentido actuar sobre sus paredes con material absorbente.

Para completar el tema de control de ruido cabría decir, aunque quede fuera del alcance del estudio de este proyecto, que hay situaciones de ruido en que la única posibilidad de control es la entrada al propio sistema auditivo utilizando protectores. La pérdida de atenuación de los protectores auditivos se produce por vibración del propio protector, de los huesos y tejidos de alrededor, por fugas a través de las almohadillas del protector o por un cierre deficiente. La transmisión ósea impone el límite a la máxima atenuación que puede alcanzarse con un protector auditivo en unos 55dB.

## CONTROL ACTIVO DEL RUIDO (CAR)

Está basado en el principio de superposición, por tanto sólo se aplica a sistemas lineales. Cuando el campo acústico a cancelar es un campo de ruido y el campo secundario se genera activamente, se obtiene un sistema CAR, que consta básicamente de micrófonos que detectan el campo primario, altavoces que generan el secundario y un controlador electrónico adecuado al ruido a controlar que procesa las señales captadas por los micrófonos y genera las señales de alimentación para los altavoces secundarios. El control puede ser global o local, y puede estar basado en el principio de interferencia o en el de absorción activa. En función de la fuente primaria (compacta o extensa) el campo secundario puede estar generado por una o más fuentes. Según el tipo de ruido y del medio de propagación puede ser determinante localizar correctamente la posición de los detectores y de las fuentes secundarias. En función del número de fuentes y detectores se denomina:

		Entrada / Input	
		Única / Single	Múltiple / Multiple
Salida / Output	Única / Single	SISO	MISO
	Múltiple / Multiple	SIMO	MIMO

El principio de funcionamiento básico de un sistema CAR es que el camino acústico entre el sensor de referencia y el punto de cancelación es mucho mayor que el camino electrónico para que el controlador procese adecuadamente las señales, para ello la zona de cancelación debe estar lo suficientemente alejada del campo primario. El campo medido en la posición de los micrófonos ha de ser extrapolado a la posición de cancelación, y para eso hay que basarse en la ecuación de ondas. Por tanto es imprescindible conocer la geometría (condiciones de contorno) del problema.

## 5. MATERIALES

Es fundamental elegir adecuadamente los materiales a utilizar como revestimiento para obtener un buen diseño acústico de un local, en función del uso al que se destine. Por ejemplo, resulta necesario potenciar la aparición de primeras reflexiones en teatros y salas de conciertos, pero para salas de conciertos preciso conseguir una buena difusión del sonido.

Por ello se clasifican los materiales según los efectos que producen sobre la energía sonora:

**a) MATERIALES ACÚSTICOS ABSORBENTES** (caso de pubs, discotecas, restaurantes, fábricas).

- **Materiales absorbentes porosos**

Produce una mayor absorción a frecuencias altas.

Disminuyen energía reflejada debido a procesos de fricción interna dentro de los poros del material, siempre que estos sean accesibles desde el exterior.

Normalmente tales materiales están formados por sustancias fibrosas o granulares a las que se les confiere un grado suficiente de compacidad a través de un proceso de prensa o de tejeduría. Los materiales absorbentes comerciales de este tipo se manufacturan básicamente a partir de:

- Lana de vidrio
- Lana mineral
- Espuma a base de resina de melamina
- Espuma de poliuretano

Factores condicionantes de la absorción acústica

- Incremento espesor del material:
- Separación del material absorbente respecto al tabique base.
- La densidad: esta propiedad debe seleccionarse en función de su influencia en las propiedades de resistencia mecánica del material

- **Materiales absorbentes selectivos, o resonadores.**

Son ideales para obtener una gran absorción a frecuencias bajas (generalmente por debajo de los 500 Hz) con objeto de reducir los valores del tiempo de reverberación. Extraen energía del campo acústico de manera selectiva en una determinada banda de frecuencias. Dicha frecuencia recibe el nombre de frecuencia de resonancia, y depende de las características físicas y geométricas del resonador.

Los resonadores pueden utilizarse de forma independiente, o complementar a los materiales absorbentes.

Básicamente, existen los siguientes tipos de resonadores:

- Resonador de membrana o diafragmático.

Placa de material no poroso y flexible colocado a cierta distancia sobre el elemento constructivo que vibra al incidir sobre ella una onda acústica, que es transformada en energía dinámica, pérdidas internas debidas a la deformación y pérdidas por fricción en los puntos de sujeción.

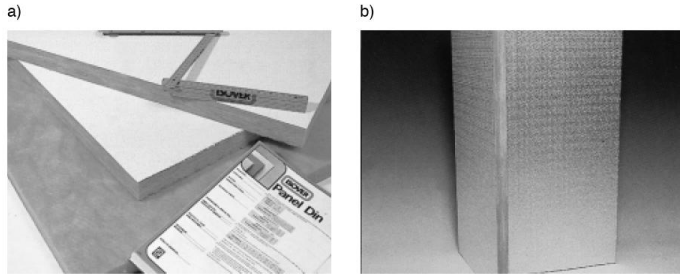


Fig. 2.32 Resonador de membrana formado por un material absorbente recubierto:  
 a) con una película de P.V.C. (Panel DIN de Isover, Cristalería Española, S.A.); b) con un complejo de papel Kraft aluminio (Panel ALUMISOL de Isover, Cristalería Española, S.A.)

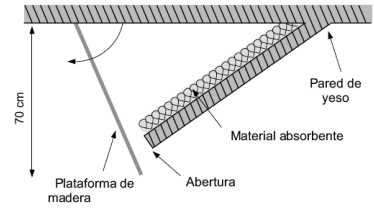


Fig. 2.38 Corte transversal del tipo de resonador simple de cavidad (Helmholtz) instalado en la Berlin Philharmonie (Alemania)

○ Resonador simple de cavidad (Helmholtz)

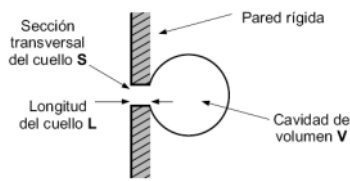
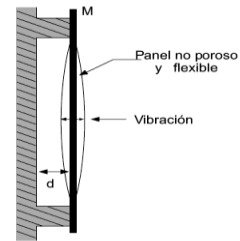


Fig. 2.34 Esquema básico de un resonador simple de cavidad (Helmholtz) montado en una pared



Esquema básico de un resonador de membrana o diafragmático

○ Resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de paneles perforados que permite una absorción frecuencial selectiva dependiendo de factores como su espesor, profundidad de la cámara posterior y el porcentaje de perforaciones.

○ Resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de listones.

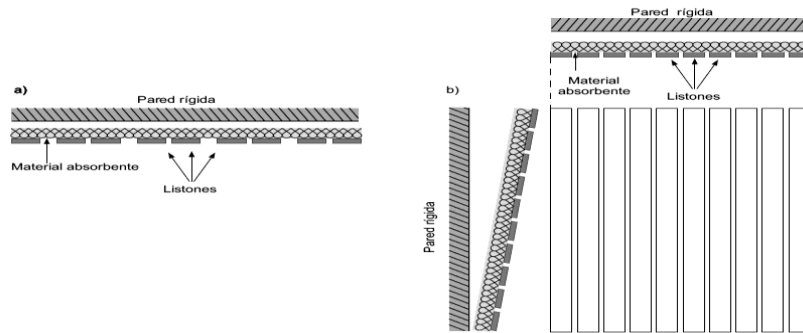


Fig. 2.53 Resonador múltiple a base de: a) listones no equiespaciados; b) listones equiespaciados con cavidad de aire de profundidad variable

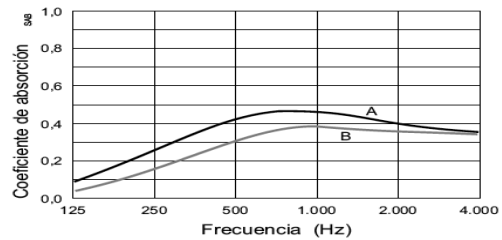
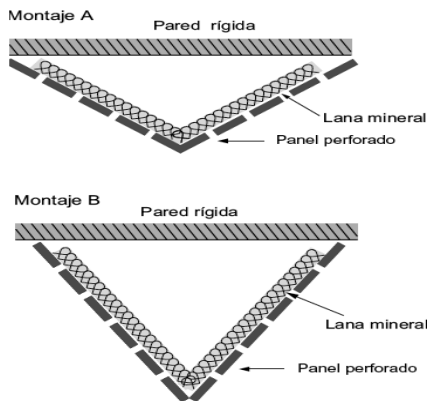


Fig. 2.45 Ejemplos de resonador múltiple formado por dos tramos de panel perforado con lana mineral en su parte posterior junto con sus correspondientes curvas de absorción

## **b) MATERIALES AISLANTES ACÚSTICOS** (disminución de energía sonora)

Se utilizan para atenuar el paso del ruido entre ambientes distintos en suelos, paredes y techos, reflejando la mayor parte de la energía que reciben.

Deben ser materiales pesados, flexibles y continuos para obtener el máximo rendimiento de su peso.

Los materiales usados generalmente en la construcción como hormigón, terrazo, acero, etc. son lo suficientemente rígidos y no porosos como para ser buenos aislantes.

Las cámaras de aire (un espacio de aire hermético) también actúan como un aislante acústico entre paredes. Si se agrega, además, material absorbente en el espacio entre los tabiques (por ejemplo, celulosa, lana de roca o lana de vidrio), el aislamiento mejora aún más. Para un efectivo aislamiento acústico, también es importante la densidad del material absorbente instalado en la cámara. El caucho y los elastómeros son materiales capaces de amortiguar el sonido.

Existen actualmente en el mercado una serie de materiales destinados al aislamiento acústico, como:

### Paneles multicapa:

Son productos diseñados específicamente para el aislamiento acústico a ruido aéreo. Están compuestos por membranas acústicas y materiales absorbentes de distintos rendimientos. Se usan para el aislamiento de muros y techos tanto en vivienda como en locales comerciales.

### Membrana acústica:

Son láminas de asfalto modificadas para conseguir un mayor rendimiento acústico. Su gran densidad y plasticidad le confieren una gran atenuación del ruido de baja frecuencia producido por la resonancia entre paneles de yeso laminar.

### Láminas para ruido de impacto:

Son láminas flexibles de polietileno reticulado no espumado. Se utilizan sobre el forjado, antes de verter la solera o recredido de mortero, para atenuar el ruido de impacto en todo tipo de edificio.

Tabla resumen materiales absorbentes acústicos.

NATURALEZA	ASPECTO	FORMA DE COLOCACIÓN	PROCESO DE ABSORCIÓN	VALOR ACÚSTICO RELATIVO	OBSERVACIONES
Placas de fibras minerales comprimidas. • Lana de roca. • Lana de vidrio.	Placas rígidas con superficie uniforme o fisurada o ranurada.	Encoladas.	La absorción es debida a la porosidad de las placas.		Estos materiales son imputrescibles y no combustibles. Pueden encolarse sobre paramentos verticales. No es conveniente pintar estas placas, salvo, eventualmente, con pintura al agua que no tape los poros.
		Suspendidas.	Al efecto de porosidad se añade un efecto de diafragma que aumenta la absorción de los graves.		
Placas de fibras minerales poco comprimidas con una lamina plástica. • Lana de vidrio.	Placas semirrígidas autoportantes.	Suspendidas.	La absorción es debida a la porosidad y al efecto diafragma de la placa suspendida. La película plástica modera la absorción de los agudos en favor de los medios.		Estos materiales son interesantes por su poder absorbente casi uniforme. Imputrescible y no combustible.
		Encoladas.	La absorción es debida a la porosidad.		Es un material combustible. Es conveniente no pintarlas. Pueden encolarse sobre paramentos verticales.
Fibra de madera. Fibra de caña de azúcar. Paja, caña.	Superficie uniforme fisurada, estriada, ranurada o perforada.	Suspendidas.	La absorción es debida a la porosidad y al efecto de diafragma.		
		Encoladas o clavadas.	La absorción es debida a los grandes poros del material.		El poder absorbente aumenta con el espesor. Solo pueden aplicarse sobre paramentos planos. Es un material combustible.
Placas de fibras de madera	Fibras de madera aglomeradas con cemento. El aspecto es poco decorativo si queda a cara vista.	Suspendidas.	La absorción aumenta por el efecto de diafragma.		
Enrejados o tejidos.		Suspendidos o fijados sobre armadura.	Se obtiene el resultado que corresponde al material que recubren. Una placa de lana de vidrio colocada sobre un tejido de gran malla da el resultado de la lana de vidrio.		Pueden ser colocados en revestimientos de muros con materiales combustibles, pero pueden ignifugarse.
		Encoladas.	Las células están cerradas y la porosidad tiene poco efecto.		Solo el poliestireno cortado mecánicamente tiene una ligera eficacia. Es un material combustible
Poliestireno expandido.	Placas blancas.	Suspendidas.	Efecto de membrana ligera.		
		Encoladas.	Absorción por porosidad.		El revestimiento es bastante frágil, se debe proyectar sobre superficies accesibles para poder efectuar reparaciones
Proyecciones de fibras minerales.	Superficie rugosa irregular				
Enlucidos porosos con base de yeso, vermiculita.	Pueden tenerse en la masa.		Eficaz solamente en frecuencias agudas.		
Pinturas absorbentes	Colorido variado.		Eficacia débil y sobre todo en los graves y medios.		

## 6. NORMATIVA. DEFINICIONES DE PARÁMETROS DE AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

### NORMATIVA DE REFERENCIA:

#### UNE-EN ISO-4: 1998: Medición in situ del aislamiento al ruido aéreo entre locales

Esta normativa tiene por objeto medir las propiedades de aislamiento acústico al ruido aéreo de las paredes interiores, de los techos y de las puertas entre dos recintos en condiciones de campo sonoro difuso, en función de la frecuencia, que se transformará en un valor único para caracterizar las propiedades acústicas del local.

#### UNE-EN ISO-5: 1998: Medición in situ del aislamiento al ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas.

Con esta normativa se pretende medir las propiedades de aislamiento acústico al ruido aéreo de las fachadas o elementos de las mismas entre interior y exterior en condiciones de campo sonoro difuso, en función de la frecuencia, para caracterizar las propiedades acústicas del local.

#### UNE-EN ISO 140-7: 1998: Medición in situ del aislamiento de suelos al ruido de impacto.

Aplicado tanto a suelos desnudos como a suelos con recubrimientos, sus resultados sirven para comparar las propiedades de aislamiento al ruido de impactos de suelos.

#### UNE-EN ISO 717-1 Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1. Aislamiento a ruido aéreo.

Define las magnitudes globales para el aislamiento a ruido aéreo en edificios y elementos de construcción, y proporciona métodos para su determinación a partir de las mediciones en tercios de octava realizadas según las Normas Internacionales ISO 140.

#### UNE-EN ISO 717-2 Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2. Aislamiento a ruido aéreo.

Define magnitudes globales para el aislamiento a ruido de impactos en edificios y de forjados-suelos, y aporta reglas para la determinación de estas magnitudes a partir de los resultados de medición realizados en bandas de tercios de octava de acuerdo a las Normas Internacionales ISO 140.





## DEFINICIONES DE LOS PARÁMETROS ACÚSTICOS:

### Para medidas de aislamiento aéreo entre locales:

$$L = 10 \cdot \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2$$

- **NIVEL MEDIO DE PRESIÓN SONORA EN UN RECINTO**,  $L$ : es la suma energética de niveles de presión sonora en distintas posiciones  $j$  dentro de un recinto.

$$L = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \text{ dB}$$

- **DIFERENCIA DE NIVELES**,  $D$ :  $D=L_1-L_2$ ,

Donde  $L_1$  es la medida del nivel de presión sonora en el recinto donde se sitúa el emisor y  $L_2$  en el recinto receptor.

- **DIFERENCIA DE NIVELES ESTANDARIZADA**,  $D_{nT}$ : es la diferencia de niveles correspondiente a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el recinto receptor.

$$D_{nT} = D - 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} \text{ dB}$$

Donde  $D$  es la diferencia de niveles,  $T$  es el tiempo de reverberación en el recinto receptor y  $T_0$  es el tiempo de reverberación de referencia, que para viviendas es  $T_0=0'5$  s.

La estandarización de la diferencia de niveles respecto a un tiempo de reverberación de 0'5 s tiene en cuenta que en habitaciones amuebladas se ha encontrado que el tiempo de reverberación es razonablemente independiente del volumen y la frecuencia, siendo aproximadamente igual a 0'5 s.

### Para medidas de aislamiento aéreo entre el exterior y el local:

- **DIFERENCIA DE NIVELES**,  $D_{2m}$ : diferencia entre el nivel de presión sonora exterior a 2 m de la fachada  $L_{1,2m}$  y el valor medio del nivel de presión sonora  $L_2$  en el interior del local receptor:

$$D_{2m}=L_{1,2m} -L_2$$

- **DIFERENCIA DE NIVELES ESTANDARIZADA**,  $D_{2m,nT}$ : diferencia de niveles correspondiente a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el local receptor. Por usar altavoz la notación será  $D_{1s,2m,nT}$ :

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \cdot \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \text{ dB}$$

- **CÁLCULO DE LOS TÉRMINOS DE ADAPTACIÓN ESPECTRAL**

$$C_j = X_{A_j} - X_w$$

$j$ : índice de los espectros sonoros

$X_w$ : índice global calculado a partir de  $R$ ,  $R'$ ,  $D_n$  o  $D_{nT}$

$X_{A_j}$ : se calcula a partir de:

$$X_{Aji} = -10 \cdot \log \sum 10^{\frac{L_{ij}-X_i}{10}} dB$$

Donde  $i$  es el índice para las bandas de tercio de octava,  $L_{ij}$  los niveles a la frecuencia  $i$  para el espectro  $j$ ,  $X_i$  el índice de reducción sonora  $R_i$ , o el índice de reducción sonora aparente  $R'_i$ , o la diferencia estandarizada de nivel sonoro  $D_{nT}$ , a la frecuencia de medida  $i$  dada con una precisión de 0'1dB.

Calcúlese el término de adaptación espectral con precisión de 0'1dB y redondéese al valor entero más próximo. Debe identificarse de acuerdo al espectro usado, como sigue:

C: cuando se calcule con el espectro nº1 (ruido rosa ponderado A)

$C_{tr}$ : cuando se calcule con el espectro nº 2 (ruido de tráfico urbano ponderado A)

### EXPRESIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

Las magnitudes globales se calculan a partir de los valores en bandas de tercios de octava, expresándolos entre paréntesis, separados por punto y coma.

### EXPRESIÓN DE LOS REQUISITOS Y DE LAS PROPIEDADES DE LOS EDIFICIOS

Los requisitos deben establecerse mediante la magnitud global o estar basados en la suma de este valor y el término de adaptación espectral adecuado.

- **TÉRMINO DE ADAPTACIÓN ESPECTRAL:**

$$C = X_{A,1} - X_W$$

$X_{A,1}$  es la diferencia entre los niveles sonoros ponderados A en las salas de emisión y recepción para ruido rosa (espectro nº1)

$X_W$  es la magnitud global adecuada, basada en la curva de referencia.

- **TÉRMINO DE ADAPTACIÓN ESPECTRAL  $C_{tr}$**

$$C_{tr} = X_{A,2} - X_W$$

$X_{A,1}$  caracteriza la diferencia entre los niveles ponderados A en la sala de emisión (o al aire libre en frente de la fachada) y la sala de recepción para ruido de tráfico (espectro nº 2)

$X_W$  es la magnitud global adecuada, basada en la curva de referencia.

## Para medidas de aislamiento a ruido de impacto:

- **NIVEL DE PRESION 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 ensayado es excitado por máquina de impactos normalizada.
- **NIVEL DE PRESION DE RUIDO DE IMPACTOS ESTANDARIZADO  $L'_{nT}$ :**

$$L'_{nT} = L_i + 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} dB$$

- **REDUCCION DEL NIVEL DE RUIDO DE IMPACTOS,  $\Delta L'$ :** es la diferencia en dB entre los niveles medios de presión acústica, en el recinto receptor antes y después de un recubrimiento de suelo.

- **MAGNITUD GLOBAL PARA LA VALORACIÓN DEL AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO.** Es el valor en dB a 500 Hz de la curva de referencia ajustada a los valores experimentales.
- **TÉRMINO DE ADAPTACIÓN AL ESPECTRO:** valor en dB que ha de añadirse a la magnitud global para tener en cuenta las características de un espectro de ruido particular.

Frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
Referencia (dB)	33	36	39	42	45	48	51	52
Frecuencia (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Referencia (dB)	53	54	55	56	56	56	56	56

Para valorar los resultados realizados conforme a las normas ISO 140 en bandas de tercio de octava, con precisión de 0'1 dB, se desplaza la curva de referencia en saltos de 1dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor de 32 dB.

Se produce una desviación desfavorable en una cierta frecuencia cuando el resultado de las mediciones es inferior al valor de referencia. Sólo deben considerarse las desviaciones desfavorables.

El valor en dB de la curva de referencia a 500Hz después del desplazamiento es el valor de  $R_w, R'_w, D_{n,w}, D_{nT,w}...$

- **MAGNITUD GLOBAL PARA LA VALORACIÓN DEL AISLAMIENTO A RUIDO DE IMPACTOS DERIVADA DE MEDICIONES EN BANDAS DE TERCIOS DE OCTAVA:** es el valor en dB, a 500Hz de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales.
- **TÉRMINO DE ADAPTACIÓN ESPECTRAL,  $C_i$ :** es el valor que debe añadirse a la magnitud global para tener en cuenta la carencia de ponderación de nivel sonoro por impactos, por lo cual representa las características del ruido de pasos.

Los valores obtenidos conforme a las normas ISO 140 se comparan con las curvas de referencia para cada frecuencia para ruido de impacto:

Frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
Referencia (dB)	62	62	62	62	62	62	61	60
Frecuencia (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Referencia (dB)	59	58	57	54	51	48	45	42

Para valorar los resultados de una medición de  $L_n, L'_n, L'_{nT}$  en bandas de tercio de octava con precisión de 0'1dB, se desplaza la curva de referencia en saltos de 1dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor de 32dB.

Se produce una desviación desfavorable en una determinada frecuencia cuando el resultado de la medición supera al valor de referencia. Sólo se deben considerar las desviaciones desfavorables.

El valor en dB de la curva de referencia a 500Hz después del ajuste es el valor de  $L_{n,w}, L'_{n,w}$  o  $L'_{nT,w}$ .

- **TÉRMINO DE ADAPTACIÓN ESPECTRAL DEL NIVEL DE RUIDO DE IMPACTOS**

Los resultados de una medición de  $L_n, L'_n$  o  $L'_{nT}$  en bandas de tercio de octava se suman mediante la regla logarítmica para obtener el término de adaptación espectral, redondeado al valor entero más próximo:

$$C_I = L_{n,sum} - 15 - L_{n,w} \text{ dB}$$

$$C_I = L'_{n,sum} - 15 - L'_{n,w} \text{ dB}$$

$$C_I = L'_{nT,sum} - 15 - L'_{nT,w} \text{ dB}$$

## 7. EQUIPO DE MEDICIÓN

A continuación se enumera el equipo empleado. No se ha efectuado calibrado, el objetivo del proyecto no es ese, sino aprender el manejo del instrumental y la metodología de medida.

### Tiempo de reverberación

- Programa *Dirac* de Bruel & Kjaer, emisor de impulsos sonoros.
  - Es un software de medición de herramientas de medición acústica, a partir del análisis de la respuesta sonora a un impulso, que permite la obtención de parámetros como la claridad, inteligibilidad, modelización y caracterización de la acústica de un recinto, entre otras, además del propio tiempo de reverberación.
- Amplificador de guitarra.
- Micrófono para recogida de respuesta.

### Ruido aéreo

- Fuente de sonido, altavoz.
- Sonómetros.

### Ruido de impacto

- Máquina de impactos.
- Sonómetros.

Los sonómetros empleados proporcionan desde medida y control de niveles de ruido hasta el registro de perfiles temporales y análisis en frecuencia, entre otras características.

## 8. METODOLOGÍA DE MEDIDA. TABLAS DE DATOS.

### 1. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN.

Con la aplicación *Dirac* de Bruel & Kjaer se generan impulsos sonoros, y se amplifican mediante un amplificador de guitarra. La respuesta se recoge mediante un micrófono, y se trata con el mismo programa *Dirac*, depurando y silenciando los extremos de la señal para tener una respuesta gráfica de la caída acústica, de la que se obtiene una tabla de valores de tiempos de reverberación. Este procedimiento se repite para cada una de las medidas, de las que deben tomarse al menos 6 para cada frecuencia. Mediante una hoja de cálculo se representan estos valores en función de la frecuencia, y de su observación se descartan los valores más dispersos para calcular un promedio con los seleccionados, que es el tiempo de reverberación que se tomará como base al resto de parámetros acústicos que lo necesiten como entrada para su deducción.

### 2. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN IN SITU DE AISLAMIENTO ACÚSTICO AL RUIDO AÉREO ENTRE LOCALES.

Previamente a las medidas de niveles con la fuente sonora en funcionamiento, se mide el nivel de fondo  $B_2$  en el recinto, en 5 posiciones distintas.

Las mediciones se hacen en bandas de tercio de octava, correspondientes a las siguientes frecuencias centrales de banda en Hertzios.

100	125	160	200	250	315	400	500
630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150

Si se quisiera obtener información adicional se complementarían con medidas a frecuencias en 50, 63, 80, 4000 y 5000 Hz, siguiendo directrices específicas a tal efecto.

El sonido generado en el recinto emisor debe ser estacionario y debe tener un espectro continuo en el rango de frecuencia considerado, por ello se emplea una fuente de ruido blanco, con una potencia tal que el nivel de presión sonora en el recinto receptor sea al menos 10 dB más alto que el nivel de fondo en cualquier banda de frecuencia. El espectro sonoro no debe tener diferencias de nivel mayores de 6 dB entre bandas de tercio de octava adyacentes.

La fente sonora se posicionará de manera que genere un campo sonoro tan difuso como sea posible, evitando la radiación directa sobre los elementos separadores, por eso se colocará separado más de 1'5 m del paramento y orientado hacia una esquina opuesta del elemento del que se está midiendo sus características acústicas.

Se debe ajustar el rango de medida del sonómetro al nivel de sonoridad conseguido con la fuente, de manera que no se saturen las medidas.

Las lecturas se toman en 5 puntos del local, separados tan uniformemente como sea posible y distanciados al menos:

- 0'7 m entre sí,
- 0'5 m entre ellas y el perímetro del recinto y
- 1 m entre ellas y la fuente.

En principio, al emplear una sola fuente, deberían tomarse dos medidas para cada posición de la fuente en cada una de las 5 posiciones del receptor (con lo cual se obtienen 10 medidas), pero por las limitaciones de espacio del local emisor sólo se tomó una medida por posición, es decir, en total 5 lecturas de  $L_1$  (en el local emisor) y 5 de  $L_2$  (en el local receptor) para cada frecuencia.

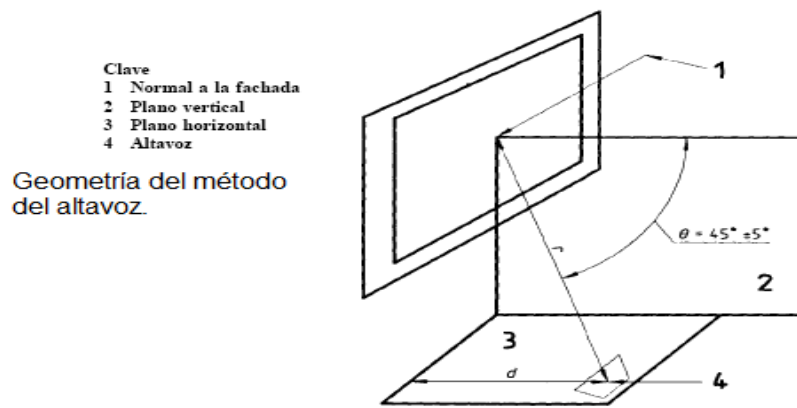
Este procedimiento se repite para cada uno de los paramentos de separación de la sala objeto de estudio.

### 3. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN IN SITU DE AISLAMIENTO ACÚSTICO AL RUIDO AÉREO EN FACHADA.

#### MEDICIÓN CON ALTAVOZ

El altavoz se coloca fuera del edificio, separado una distancia  $d$  de la fachada, inclinado unos  $45^\circ$ .

El nivel de presión sonora medio se determina a 2m frente a la fachada (método global, pero por no disponer de alargador telescópico hubo que hacerlo a la distancia que permitía el brazo), así como en el local receptor. Se calculan bien el índice de reducción sonora aparente  $R'_{45}$  o la diferencia de nivel  $D_{1s,2m}$ .



El campo sonoro estacionario genera un espectro continuo en el rango de frecuencia considerado entre 100 y 3150 Hz, en bandas de tercios de octava. Las diferencias de niveles de potencia sonora entre las bandas de tercios de octava que forman una octava no deben superar 6 dB en la banda de 125 Hz, 5 dB en la de 250 Hz y 4 dB en las superiores.

En el local receptor se medirá tanto el nivel de ruido de fondo  $B_2$  como el nivel de presión sonora proveniente de la fuente exterior  $L_2$ , en 5 posiciones distribuidas lo más uniformemente posible dentro del recinto, respetando que estén separadas al menos 0'7 m entre ellas, 0'5 m con los paramentos perimetrales y 1 m con la fuente.

Es necesario medir los niveles de ruido de fondo para descartar que las observaciones se vean afectadas por ruidos extraños.

#### MEDICIONES FRENTE A FACHADA

Debería haberse hecho la medida de  $L_1$  situando el micrófono en la parte central del exterior de la fachada a distancias que deben ser:

- $2'0 \pm 0'2$  m desde el plano de fachada (dadas las limitaciones de equipo con las que se contaba y que no se disponía de brazo telescópico, estas consideraciones no pudieron cumplirse, se tomó la medida a unos 0'5 m de separación de la fachada). El nivel de presión sonora medido se representa por  $L_{1,2m}$ .
- 1'5 m de altura sobre el suelo del local de recepción

#### **4. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN IN SITU DE AISLAMIENTO ACÚSTICO AL RUIDO DE IMPACTO ENTRE LOCALES.**

Las medidas in situ del aislamiento a ruido de impactos de suelos deberán hacerse en tercios de octava, generando el campo acústico con la máquina de impactos.

La máquina de impactos deberá ser colocada en al menos 4 posiciones distribuidas de forma aleatoria sobre el suelo de ensayo, aunque en el caso del aula objeto de estudio se han hecho sólo 2 mediciones ya que el piso superior es de despachos y sólo podía colocarse la máquina en el pasillo. La distancia de la máquina de impactos a los bordes del suelo deberá ser de al menos 0'5 m. En caso de suelos no isótropos pueden necesitarse más posiciones, según las distintas direcciones.

Las mediciones deben comenzar cuando se alcance el régimen estacionario de ritmo de la máquina de impactos.

Para medir el nivel de ruido de impactos se utilizan los micrófonos con al menos las restricciones de distancia siguientes:

- 0'7 m entre las distintas posiciones de micrófono.
- 0'5 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes de la sala
- 1'0 m entre cualquier posición de micrófono y el suelo superior que está siendo excitado por la máquina de impactos.

## 9. ELABORACIÓN DE RESULTADOS. GRÁFICAS.

### 1. TIEMPO DE REVERBERACIÓN.

Ver gráficas de tiempos de reverberación y curvas tonales.

### 2. AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO ENTRE LOCALES.

CORRECCIÓN POR RUIDO DE FONDO.

Este nivel debe ser al menos 6 dB menor que el nivel combinado de señal y ruido de fondo. Si son menores de 10 dB, hay que corregirlas según:

$$L = 10 \cdot \log \left( 10^{L_{L_2}/10} - 10^{L_{B_2}/10} \right) dB$$

Donde  $L$  es el nivel de la señal corregido,  $L_2$  el nivel combinado de señal y ruido de fondo y  $B_2$  el nivel de ruido de fondo. Si la diferencia de niveles es menor o igual de 6 dB en cualquiera de las bandas de frecuencia, hay que corregir 1'3 dB, indicando que los  $D_{nr}$ ,  $D_{nT}$  o  $R'$  son un límite de la medición.

El procedimiento de medida debe ser reproducible siguiendo el método establecido en la norma ISO 140-2. En el caso que afecta a este estudio no se ha hecho un procedimiento de calibrado, dado que se trata de un ejemplo académico que persigue fundamentalmente la utilidad de la medición para obtener parámetros acústicos de distintos elementos constructivos más que el conocimiento exhaustivo de la tecnología asociada a los aparatos de medida.

De ahí se halla la diferencia de niveles  $D$  entre  $L_1$  y  $L_{2\text{corregido}}$ , para posteriormente calcular la diferencia de niveles estandarizada  $D_{n,T}$  con el tiempo de reverberación

Se traslada la curva de referencia de la ISO 717-1 hasta ajustarla al valor de  $D_{n,T}$  a 500 Hz, y se representa para cada una de las particiones, de forma que  $D_{n,T}$  quede equilibrado por encima y por debajo de la referencia.

Con una aplicación diseñada para el cálculo del aislamiento pueden calcularse los valores de los términos de adaptación espectral  $D_{nT}w(C;C_{tr})$ , siendo el primero el valor de la diferencia de niveles estandarizada,  $C$  el valor corregido por ruido rosa ponderado, y  $C_{tr}$  la corrección para ruido de tráfico ponderado. En cada una de las gráficas correspondientes al estudio de cada partición puede observarse el resultado obtenido.

El área de absorción acústica equivalente se evalúa a partir del tiempo de reverberación medio mediante la fórmula de Sabine:

$$A = \frac{0'162 \cdot V}{T}$$

Donde  $V$  es el volumen del recinto receptor y  $T$  el tiempo de reverberación del recinto receptor para cada frecuencia.

Con él, dividiendo entre la superficie total de los cerramientos (paredes, suelo y techos) se calcula el coeficiente de absorción  $\bar{\alpha}$ , que en caso de resultar mayor de 0'2, debería calcularse mediante la fórmula de Eyring:

$$\bar{\alpha} = \frac{A_T}{S_T} \quad \bar{\alpha} \geq 0.2 \quad \longrightarrow \quad T_R = \frac{0'162 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})}$$

Se expresan los valores de diferencia de nivel estandarizada  $D_{nT}$ , para todas las frecuencias de medida, con una cifra decimal, en tabla y en gráficas en función de la frecuencia, que pueden observarse en las denominadas como particiones A (emisor=pasillo, receptor=aula), B (emisor=terracea 1, receptor=aula) y C (emisor=terracea 2, receptor=aula)



Para evaluar un índice global a partir de  $D_{nT}(f)$  y  $R'(f)$ , se emplea la norma ISO 717-1, indicando que la evaluación ha sido mediante una medición in situ.

⇒ CONDICIONES EN BAJA FRECUENCIA

En bandas de baja frecuencia no pueden esperarse condiciones de campo difuso para recintos de volúmenes pequeños, ya que el requisito por el cual las dimensiones del local deberían de ser de al menos una longitud de onda no pueden cumplirse a dichas frecuencias, y acaban formándose ondas estacionarias debido al pequeño número de modos del recinto en esas bandas de frecuencia.

La excitación de los modos del recinto depende, en gran medida, de las posiciones de la fuente, y puede provocar una gran dispersión de los resultados medidos, de manera que habría que aumentar el número de medidas y el número de posiciones en las que se toman.

### 3. AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO EN FACHADA.

Se dan los valores de la diferencia de niveles estandarizada  $D_{nT}$  o del índice de reducción sonora aparente  $R'$  a todas las frecuencias de medición, en forma de tabla y/o de curva, representando los niveles frente a las frecuencias, siguiendo la secuencia de cálculo descrita para el apartado anterior, es decir:

- restarle el ruido de fondo,  $L_{2\text{corregido}}=L_2-B_2$  (suma energética)
- calcular la diferencia de nivel corregida,  $D=L_1-L_{2\text{corregido}}$ .
- hallar la diferencia de nivel estandarizada,  $D_{nT}=D+10\cdot\log(T/0'5)$ .
- comparar con la referencia de la norma ISO 717 (Tabla) ajustada al valor del  $D_{nT}$  a 500 Hz
- con la formula de Sabine se halla el valor del área de absorción equivalente  $A_2$ .
- con la absorción se averigua el coeficiente de absorción  $\bar{\alpha}$  a partir del volumen contenedor del recinto y de la superficie total de sus paramentos delimitadores.
- con la aplicación se calcula el término de adaptación espectral  $D_{nT,w}(C;C_{tr})$ , con las correcciones de ruido blanco a ruido rosa y a ruido de tráfico.

La representación de los resultados puede observarse en la gráfica de la denominada partición D (emisor=fachada, receptor=aula).

### 4. AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO DE IMPACTO.

A partir de los niveles de impacto  $L$  en las dos posiciones, se calcula un promedio energético de ellas para hallar con él el nivel de presión de ruido de impactos estandarizado mediante  $L'_{nT}=L-\log(T/0'5)$ . Este resultado se compara con la curva de referencia de la ISO 717-2 ajustada al valor de 500 Hz.

Con la aplicación se calculan los coeficientes de adaptación espectral  $L'_{nT,w}=48dB$

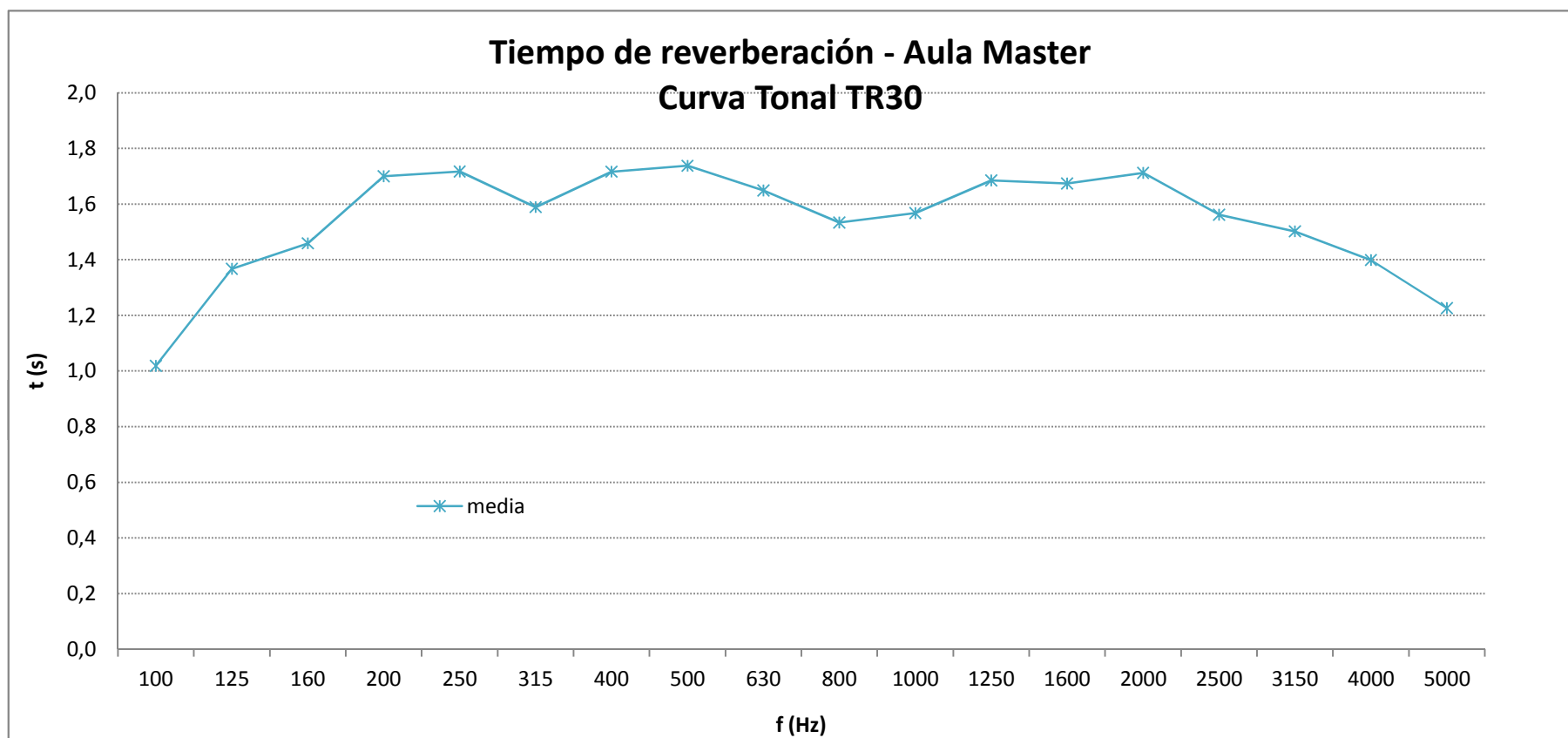
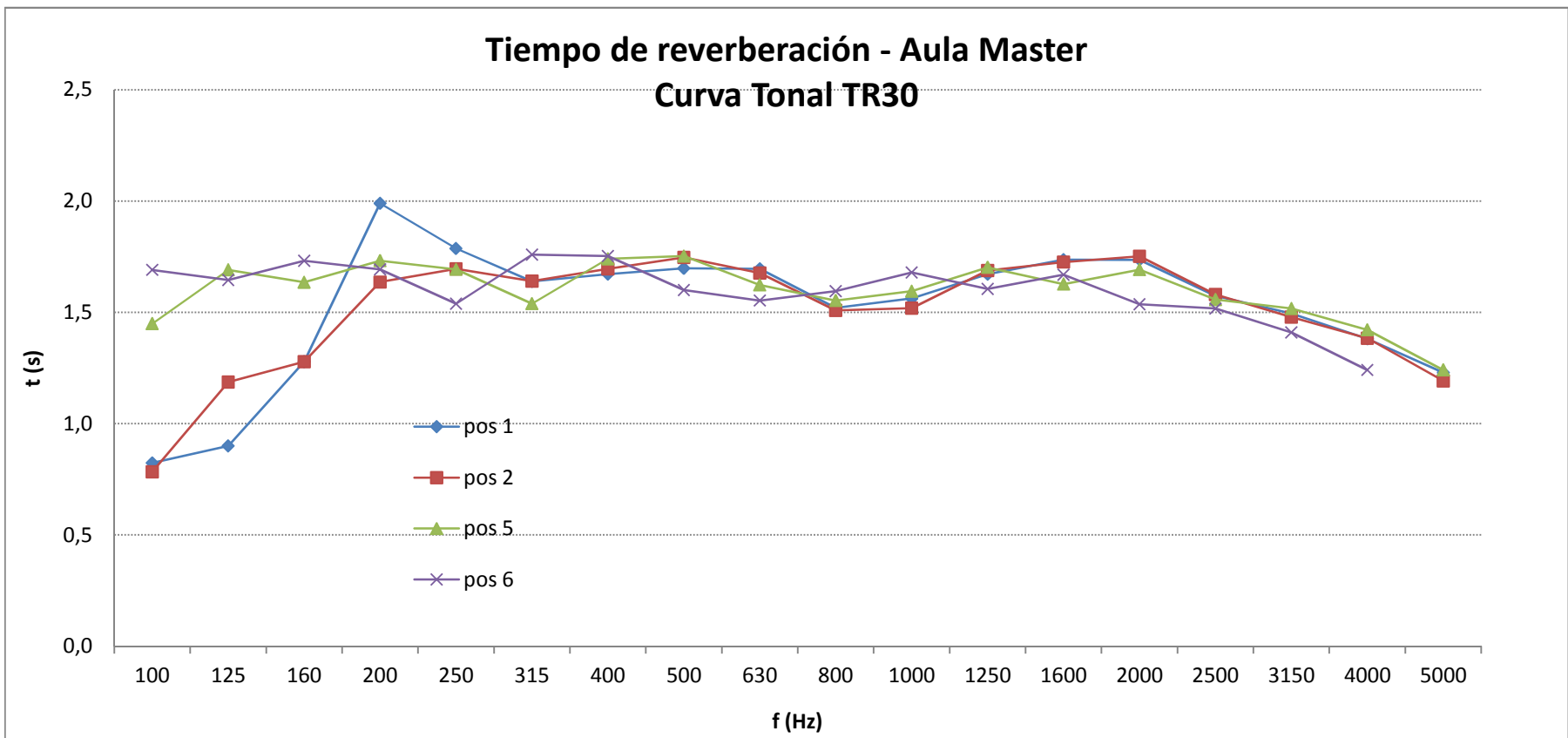
Para presentar el aislamiento a ruido de impactos entre dos salas de una edificación, debe darse el nivel de presión de ruido de impactos estandarizado  $L'_{nT}$  para todas las frecuencias de medida, con una cifra decimal, en tabla y en gráfica.

A bajas frecuencias (inferiores a 400 Hz) no se puede garantizar las condiciones de campo difuso en las que deben hacerse las mediciones, por lo que los resultados no son del todo fiables, ya que al menos una de las dimensiones del recinto debería ser de una longitud de onda y otra de al menos media longitud de onda, lo cual no se cumple a frecuencias bajas, por lo que debería aumentarse el muestreo.

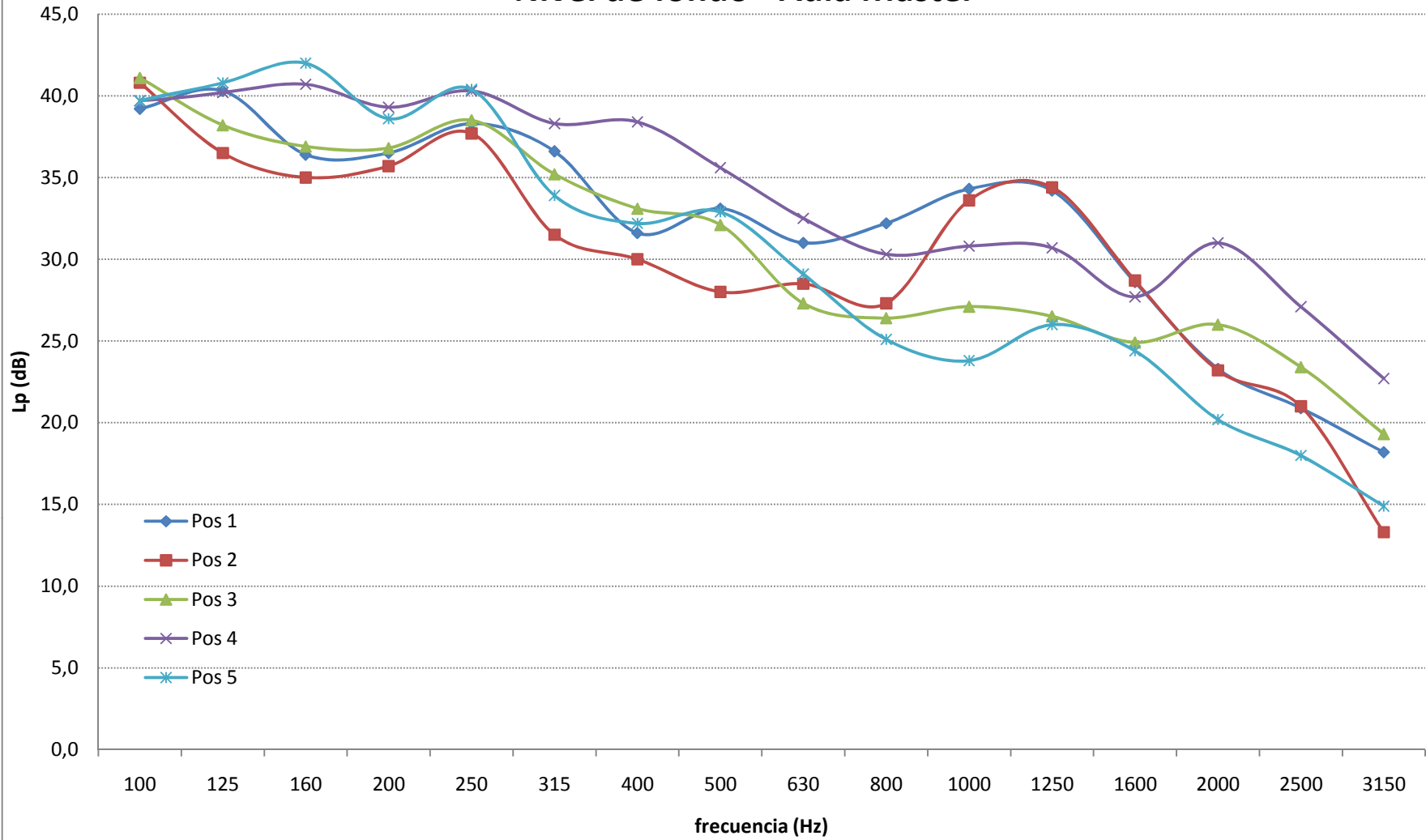
(Para más información ver los resultados de las hojas de cálculo)

	f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
	t rev med	1,018	1,367	1,459	1,700	1,717	1,589	1,717	1,738	1,649	1,534	1,568	1,685	1,674	1,712	1,562	1,502
	ref UNE 717	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
<b>T30</b>	<b>promedio</b>	1,02	1,37	1,46	1,70	1,72	1,59	1,72	1,74	1,65	1,53	1,57	1,69	1,67	1,71	1,56	1,50
	<b>Pos 1</b>	0,823	0,900	1,278	1,990	1,787	1,639	1,672	1,698	1,696	1,520	1,562	1,671	1,737	1,736	1,574	1,495
	<b>Pos 2</b>	0,783	1,187	1,278	1,636	1,695	1,640	1,695	1,747	1,677	1,509	1,519	1,688	1,726	1,752	1,580	1,479
	<b>Pos 5</b>	1,449	1,691	1,635	1,732	1,693	1,539	1,740	1,753	1,623	1,553	1,595	1,702	1,627	1,692	1,557	1,517
	<b>Pos 6</b>	3,659	1,691	1,645	1,732	1,693	1,539	1,759	1,753	1,600	1,553	1,595	1,679	1,605	1,669	1,536	1,517
<b>Fondo aula</b>	<b>Promedio</b>	40,2	39,5	39,0	37,6	39,2	35,7	34,2	33,0	30,1	29,1	31,4	31,7	27,2	26,4	23,2	18,9
<b>B2</b>	<b>Pos 1</b>	39,2	40,3	36,4	36,5	38,3	36,6	31,6	33,1	31,0	32,2	34,3	34,2	28,6	23,3	20,9	18,2
	<b>Pos 2</b>	40,8	36,5	35,0	35,7	37,7	31,5	30,0	28,0	28,5	27,3	33,6	34,4	28,7	23,2	21,0	13,3
	<b>Pos 3</b>	41,1	38,2	36,9	36,8	38,5	35,2	33,1	32,1	27,3	26,4	27,1	26,5	24,9	26,0	23,4	19,3
	<b>Pos 4</b>	39,7	40,2	40,7	39,3	40,3	38,3	38,4	35,6	32,5	30,3	30,8	30,7	27,7	31,0	27,1	22,7
	<b>Pos 5</b>	39,7	40,8	42,0	38,6	40,4	33,9	32,2	32,9	29,1	25,1	23,8	26,0	24,4	20,2	18,0	14,9
impacto P1	<b>Pos 1</b>	39,9	42,8	44,3	43,0	42,9	44,0	41,8	45,4	43,9	44,3	42,4	43,1	44,7	44,2	47,6	51,6
impacto P2	<b>Pos 2</b>	40,2	41,6	43,9	39,4	43,0	42,8	44,2	44,4	42,8	45,1	42,7	44,0	44,8	44,9	44,5	46,3
	<b>promedio</b>	40,1	42,2	44,1	41,2	43,0	43,4	43,0	44,9	43,4	44,7	42,6	43,6	44,8	44,6	46,1	49,0
t rev receptor	<b>T</b>	1,02	1,37	1,46	1,70	1,72	1,59	1,72	1,74	1,65	1,53	1,57	1,69	1,67	1,71	1,56	1,50
L-10lg(T/0'5)	<b>Ln,T</b>	37,0	37,8	39,4	35,9	37,6	38,4	37,6	39,5	38,2	39,8	37,6	38,3	39,5	39,2	41,1	44,2
<b>corrección pasillo</b>	<b>ruido pasillo</b>	79,5	79,4	83,0	84,6	85,1	86,5	89,3	89,2	90,6	90,4	88,8	84,6	85,7	86,7	86,9	83,1
	<b>ruido aula</b>	62,3	62,3	61,4	64,5	64,1	63,9	64,0	64,1	63,6	63,5	60,8	57,5	58,5	61,9	61,1	57,9
	<b>fondo</b>	40,1	38,8	37,3	37,1	38,7	35,4	33,3	32,2	29,8	29,1	31,5	31,5	27,5	25,9	23,1	18,4
	<b>diferencia ruido ruido-fondo</b>	17,2	17,1	21,6	20,1	21,0	22,6	25,3	25,1	27,0	26,9	28,0	27,1	27,2	24,8	25,8	25,1
	<b>NC-65</b>	76,7	75,0	73,7	72,3	71,0	70,0	69,0	68,0	67,3	66,7	66,0	65,3	64,7	64,0	63,7	63,3
	<b>NC-60</b>	73,0	71,0	69,7	68,3	67,0	65,7	64,3	63,0	62,3	61,7	61,0	60,3	59,7	59,0	58,7	58,3
	<b>NC-55</b>	69,3	67,0	65,3	63,7	62,0	60,7	59,3	58,0	57,3	56,7	56,0	55,3	54,7	54,0	53,7	53,3
	<b>NC-50</b>	66,3	64,0	62,0	60,0	58,0	56,7	55,3	54,0	53,0	52,0	51,0	50,3	49,7	49,0	48,7	48,3
	<b>NC-45</b>	62,3	60,0	58,0	56,0	54,0	52,3	50,7	49,0	48,0	47,0	46,0	45,3	44,7	44,0	43,7	43,3
	<b>NC-40</b>	59,3	57,0	54,7	52,3	50,0	48,3	46,7	45,0	43,7	42,3	41,0	40,3	39,7	39,0	38,7	38,3
	<b>NC-35</b>	54,7	52,0	49,7	47,3	45,0	43,3	41,7	40,0	38,7	37,3	36,0	35,3	34,7	34,0	33,7	33,3
	<b>NC-30</b>	51,0	48,0	45,7	43,3	41,0	39,0	37,0	35,0	33,7	32,3	31,0	30,3	29,7	29,0	28,7	28,3
	<b>NC-25</b>	47,3	44,0	41,7	39,3	37,0	35,0	33,0	31,0	29,7	28,3	27,0	26,0	25,0	24,0	23,3	22,7
	<b>NC-20</b>	43,7	40,0	37,7	35,3	33,0	30,7	28,3	26,0	24,7	23,3	22,0	21,0	20,0	19,0	18,3	17,7
	<b>NC-15</b>	39,7	36,0	33,7	31,3	29,0	26,7	24,3	22,0	20,3	18,7	17,0	16,0	15,0	14,0	13,3	12,7

f(Hz)	pos1	pos2	pos5	pos6	media
100	0,823	0,783	1,449	3,659	1,018
125	0,900	1,187	1,691	1,691	1,367
160	1,278	1,278	1,635	1,645	1,459
200	1,990	1,636	1,732	1,732	1,700
250	1,787	1,695	1,693	1,693	1,717
315	1,639	1,640	1,539	1,539	1,589
400	1,672	1,695	1,740	1,759	1,717
500	1,698	1,747	1,753	1,753	1,738
630	1,696	1,677	1,623	1,600	1,649
800	1,520	1,509	1,553	1,553	1,534
1000	1,562	1,519	1,595	1,595	1,568
1250	1,671	1,688	1,702	1,679	1,685
1600	1,737	1,726	1,627	1,605	1,674
2000	1,736	1,752	1,692	1,669	1,712
2500	1,574	1,580	1,557	1,536	1,562
3150	1,495	1,479	1,517	1,517	1,502
4000	1,381	1,383	1,421	1,410	1,399
5000	1,229	1,192	1,241	1,241	1,226

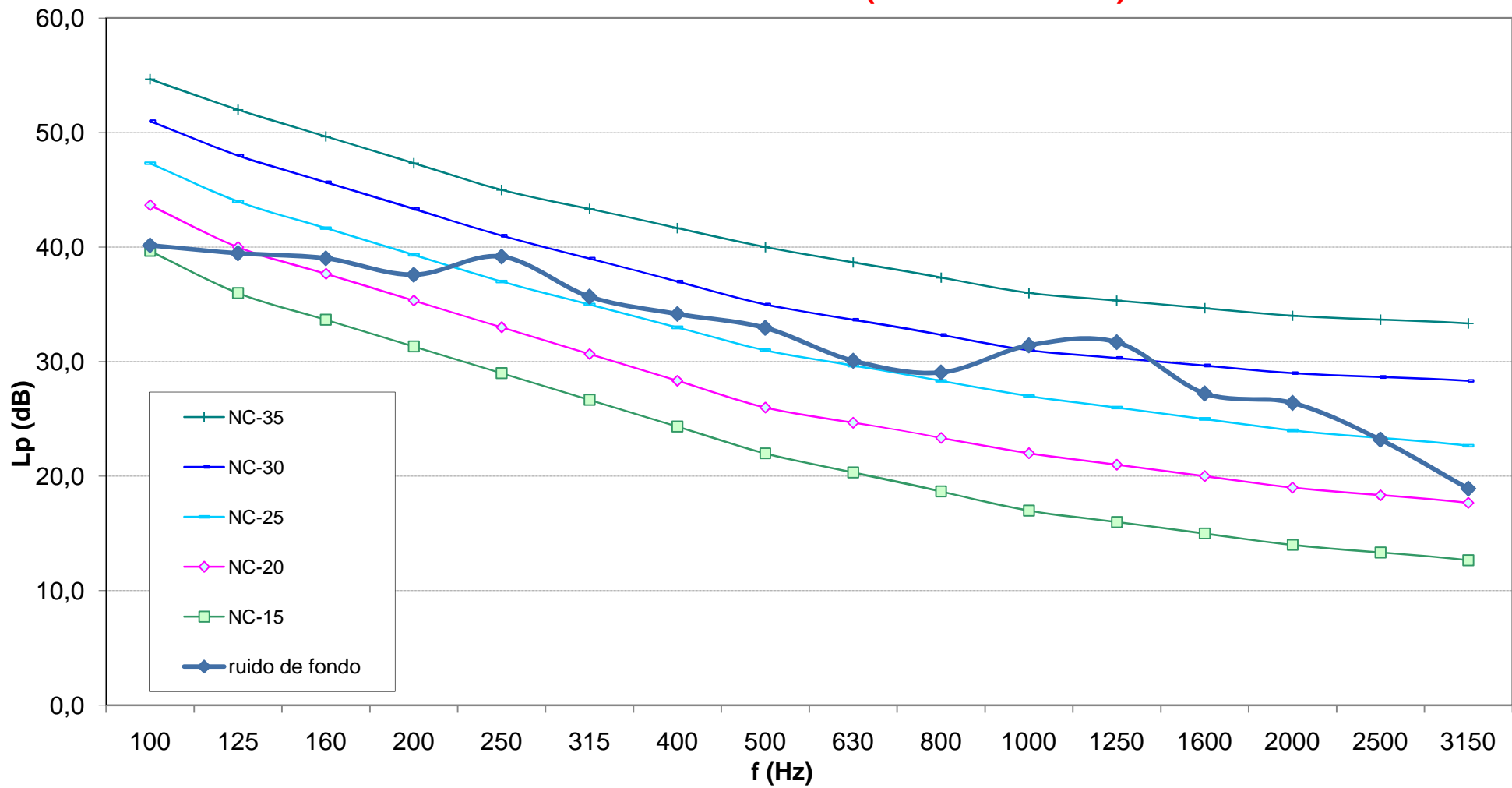


## Nivel de fondo - Aula Máster



# Aula Máster

## Ruido de fondo (valores medios)



UNE 717-1/2	frecuencia	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
	Referencia	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56

**PARTICIÓN A PASILLO AULA**

DnT,w=32(-1;-2)

<b>emisor:</b>	<b>L1 promedio</b>	80,6	80,0	84,4	84,9	85,3	87,4	89,8	89,6	91,0	91,0	89,4	84,9	86,2	88,3	87,6	84,1
<b>Pasillo</b>	<b>Pos 1</b>	83,6	79,3	87,3	85,1	85,2	89,6	91,2	91,8	92,7	91,4	88,9	86,1	87,0	88,1	86,3	82,6
	<b>Pos 2</b>	78,0	80,6	82,3	87,0	83,7	86,9	88,3	90,8	91,9	92,9	89,4	85,8	86,9	91,0	90,8	87,8
	<b>Pos 3</b>	82,0	81,1	78,7	82,1	86,9	89,2	91,9	87,7	91,3	92,0	92,0	84,9	87,7	89,0	88,3	83,6
	<b>Pos 4</b>	80,2	81,7	87,0	84,9	86,1	86,0	89,0	86,3	90,2	90,1	89,3	85,1	85,7	88,0	86,0	83,3
	<b>Pos 5</b>	73,7	74,5	79,8	84,0	83,7	80,9	86,0	89,2	87,1	85,7	84,3	81,2	81,4	77,3	82,9	78,0

<b>receptor:</b>	<b>L2 promedio</b>	64,4	65,2	61,4	65,9	64,7	64,3	64,8	64,2	63,8	63,7	61,1	57,5	59,5	62,7	61,9	58,7
<b>Aula</b>	<b>Pos 1</b>	69,5	71,0	64,0	70,7	67,9	68,3	69,3	67,0	67,1	67,3	64,7	60,6	64,1	67,0	66,2	63,2
	<b>Pos 2</b>	62,4	57,1	58,2	64,6	65,5	63,4	64,0	63,5	62,7	63,6	60,2	56,5	56,3	59,7	59,2	56,4
	<b>Pos 3</b>	61,4	62,6	61,0	61,6	61,0	61,3	62,1	62,8	63,2	61,5	59,8	56,8	56,9	60,6	59,2	56,1
	<b>Pos 4</b>	60,3	58,6	62,3	61,2	62,1	62,7	60,6	63,1	61,4	61,5	58,5	56,1	56,8	60,4	59,7	56,0
	<b>Pos 5</b>	58,0	59,8	58,9	63,0	63,4	61,1	61,2	63,0	61,8	60,6	58,8	55,1	57,0	60,1	60,0	56,1

<b>B2 promedio</b>	40,2	39,5	39,0	37,6	39,2	35,7	34,2	33,0	30,1	29,1	31,4	31,7	27,2	26,4	23,2	18,9
<b>Pos 1</b>	39,2	40,3	36,4	36,5	38,3	36,6	31,6	33,1	31,0	32,2	34,3	34,2	28,6	23,3	20,9	18,2
<b>Pos 2</b>	40,8	36,5	35,0	35,7	37,7	31,5	30,0	28,0	28,5	27,3	33,6	34,4	28,7	23,2	21,0	13,3
<b>Pos 3</b>	41,1	38,2	36,9	36,8	38,5	35,2	33,1	32,1	27,3	26,4	27,1	26,5	24,9	26,0	23,4	19,3
<b>Pos 4</b>	39,7	40,2	40,7	39,3	40,3	38,3	38,4	35,6	32,5	30,3	30,8	30,7	27,7	31,0	27,1	22,7
<b>Pos 5</b>	39,7	40,8	42,0	38,6	40,4	33,9	32,2	32,9	29,1	25,1	23,8	26,0	24,4	20,2	18,0	14,9

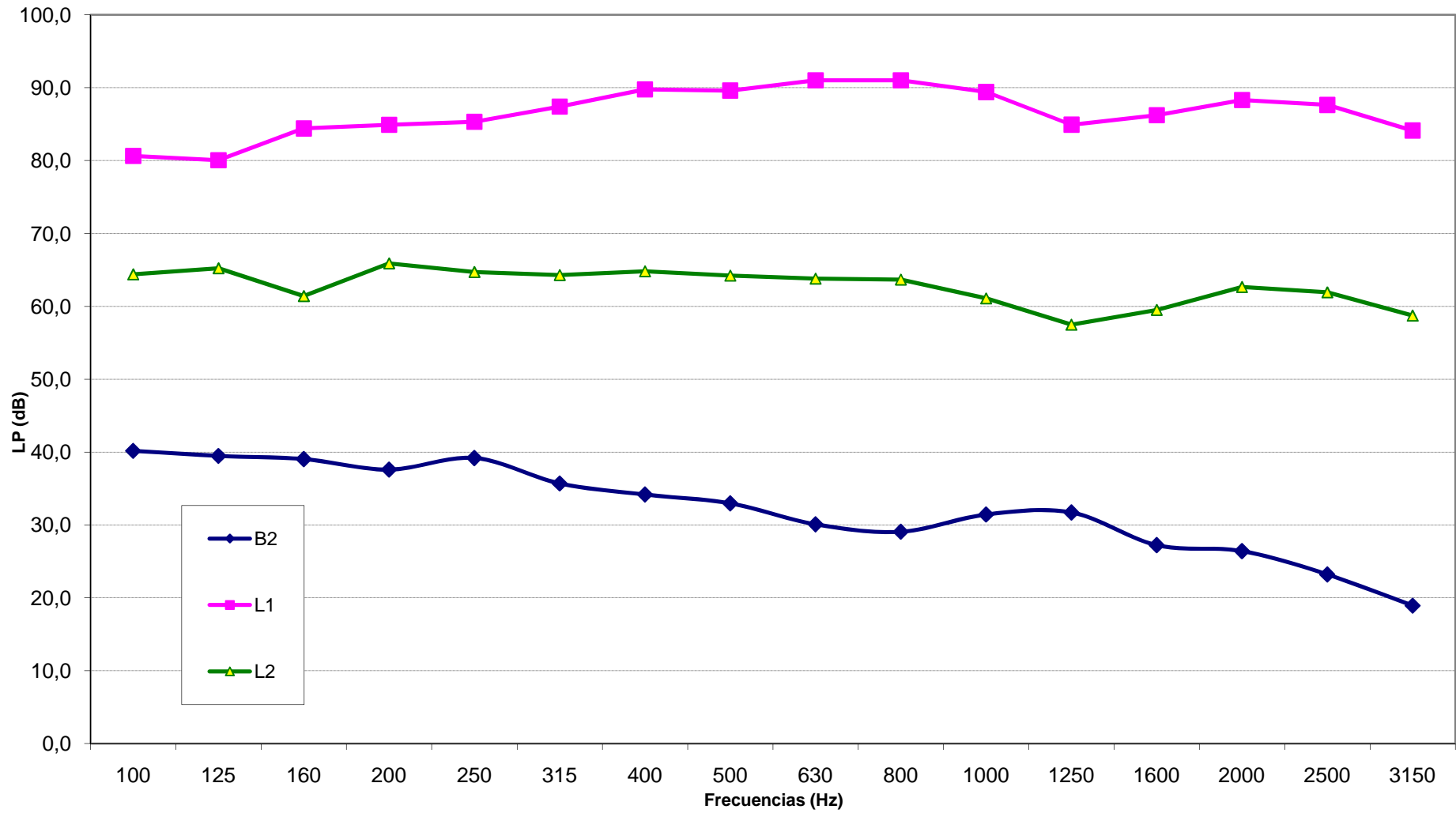
T2 Trev	<b>T30 promedio</b>	1,02	1,37	1,46	1,70	1,72	1,59	1,72	1,74	1,65	1,53	1,57	1,69	1,67	1,71	1,56	1,50
	<b>Pos 1</b>	0,823	0,900	1,278	1,990	1,787	1,639	1,672	1,698	1,696	1,520	1,562	1,671	1,737	1,736	1,574	1,495
	<b>Pos 2</b>	0,783	1,187	1,278	1,636	1,695	1,640	1,695	1,747	1,677	1,509	1,519	1,688	1,726	1,752	1,580	1,479
	<b>Pos 5</b>	1,449	1,691	1,635	1,732	1,693	1,539	1,740	1,753	1,623	1,553	1,595	1,702	1,627	1,692	1,557	1,517
	<b>Pos 6</b>	3,659	1,691	1,645	1,732	1,693	1,539	1,759	1,753	1,600	1,553	1,595	1,679	1,605	1,669	1,536	1,517

L2(-)B2	<b>Corrección</b>																
D=L1-L2corregido	<b>L2<sub>corregido</sub></b>	64,4	65,2	61,4	65,9	64,7	64,3	64,8	64,2	63,8	63,7	61,1	57,5	59,5	62,7	61,9	58,7
Dn,T=D+10lg(T2/0'5)	<b>Diferencia</b>	16,2	14,8	23,0	19,0	20,6	23,1	25,0	25,4	27,2	27,3	28,3	27,4	26,7	25,6	25,7	25,4
	<b>Difer TR</b>	19,3	19,2	27,7	24,3	26,0	28,1	30,3	30,8	32,4	32,2	33,3	32,7	31,9	31,0	30,7	30,2
	<b>ref ajuste</b>	12	15	18	21	24	27	30	31	32	33	34	35	35	35	35	35

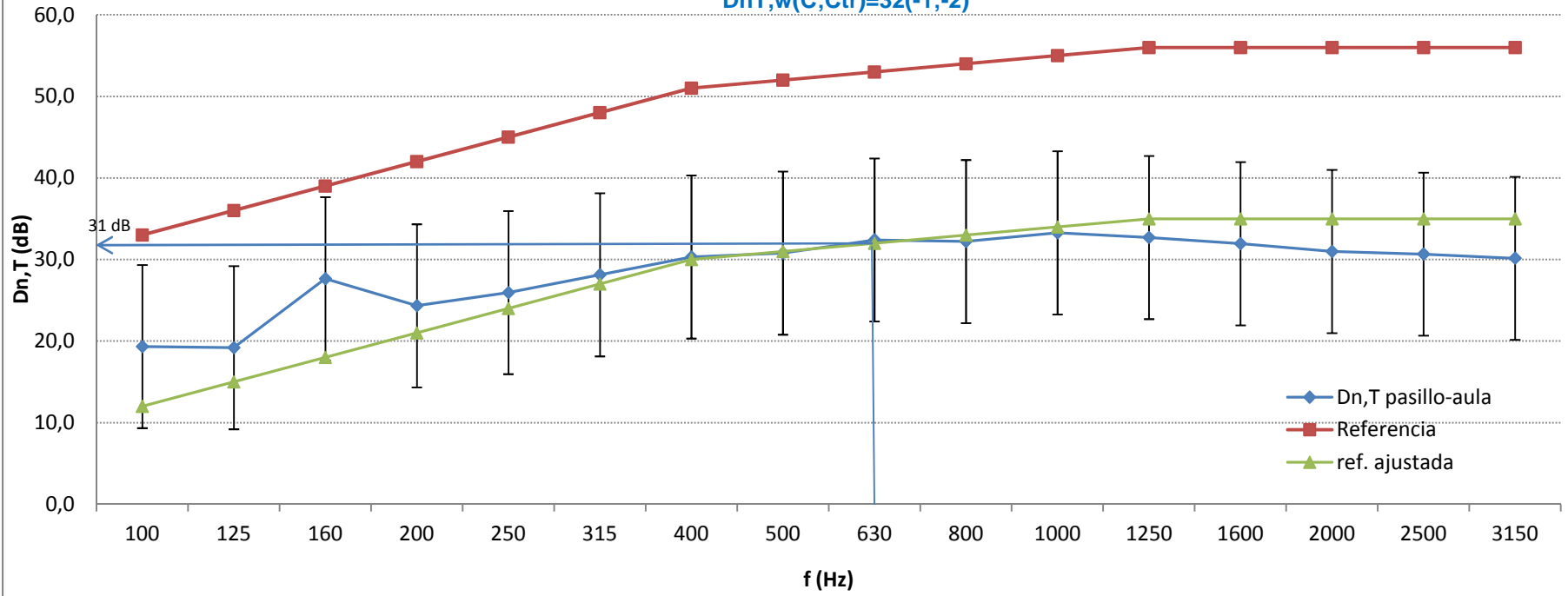
0,162*V/T2	A2	71,823	53,494	50,130	43,023	42,597	46,022	42,610	42,089	44,354	47,687	46,653	43,406	43,698	42,716	46,832	48,695
Sabine	α	0,1635	0,1218	0,1141	0,0979	0,097	0,1048	0,097	0,0958	0,101	0,1085	0,1062	0,0988	0,0995	0,0972	0,1066	0,1108
coef abs	Volumen		m3	<b>451,48</b>													
	Superficie	total	m2	<b>439,33</b>													

Rw(C;Ctr)								pA m2	pB m2	pC m2	pD m2	suelo m2	techo m2				
								35,71	23,5	23,5	31,81	162,4	162,4				

**Aula Master - Partición A**  
**EMISOR: Pasillo RECEPTOR: Aula**  
**Niveles**



**Dn,T (Partición A)**  
**EMISOR: Pasillo RECEPTOR: Aula**  
**DnT,w(C;Ctr)=32(-1;-2)**





UNE 717-1/2	frecuencia	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
	Referencia	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56

**PARTICIÓN B TERRAZA 1 AULA**

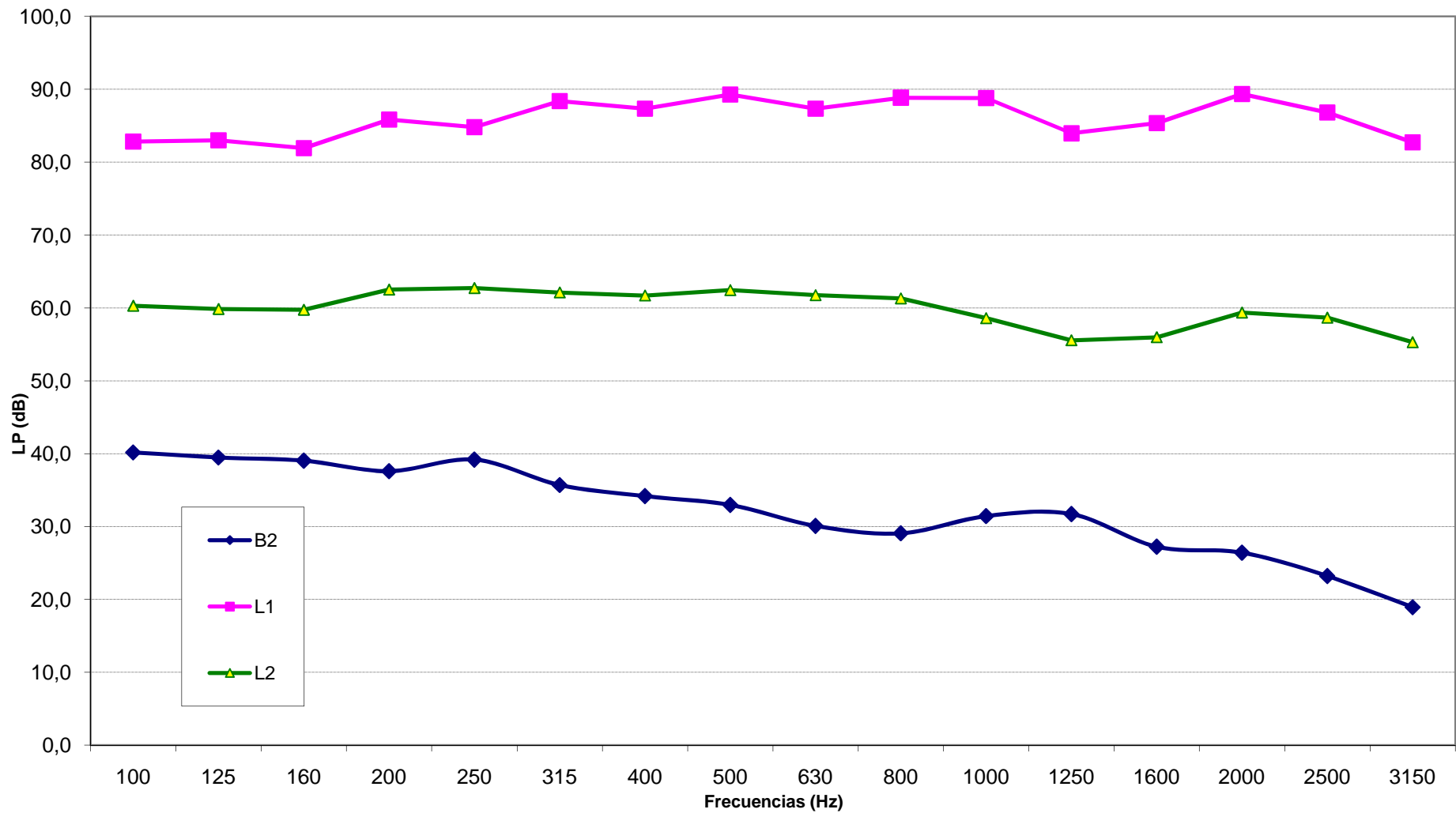
DnT,w=33(0;-1)

<b>emisor:</b> <b>Terraza 1</b>	<b>L1</b>	<b>promedio</b>	82,8	83,0	81,9	85,8	84,8	88,4	87,3	89,3	87,3	88,8	88,8	84,0	85,4	89,3	86,8	82,7
		<b>Pos 1</b>	77,3	78,0	82,6	88,6	86,9	94,0	92,6	94,5	91,6	92,7	93,9	89,1	91,3	95,5	92,6	88,2
		<b>Pos 2</b>	80,1	83,6	85,4	85,0	87,1	87,1	87,3	89,0	87,8	87,5	86,2	82,3	81,7	84,9	82,6	80,9
		<b>Pos 3</b>	86,0	78,6	78,3	87,8	82,4	81,9	80,9	84,7	84,0	86,5	86,0	79,5	79,8	81,4	81,5	77,8
		<b>Pos 4</b>	77,5	83,8	77,0	82,9	82,0	81,0	80,8	82,7	82,3	88,3	85,0	78,6	77,9	82,3	82,1	76,4
		<b>Pos 5</b>	85,4	85,9	81,2	79,1	82,5	81,0	80,0	81,7	83,8	84,5	82,9	79,9	78,1	81,2	79,6	76,7
<b>receptor:</b> <b>Aula</b>	<b>L2</b>	<b>promedio</b>	60,3	59,8	59,7	62,5	62,7	62,1	61,7	62,4	61,7	61,3	58,6	55,5	56,0	59,4	58,7	55,3
		<b>Pos 1</b>	57,2	59,1	54,9	61,0	58,8	61,6	59,0	57,7	58,0	56,9	51,3	51,4	48,8	50,6	48,4	45,7
		<b>Pos 2</b>	62,4	57,1	58,2	64,6	65,5	63,4	64,0	63,5	62,7	63,6	60,2	56,5	56,3	59,7	59,2	56,4
		<b>Pos 3</b>	61,4	62,6	61,0	61,6	61,0	61,3	62,1	62,8	63,2	61,5	59,8	56,8	56,9	60,6	59,2	56,1
		<b>Pos 4</b>	60,3	58,6	62,3	61,2	62,1	62,7	60,6	63,1	61,4	61,5	58,5	56,1	56,8	60,4	59,7	56,0
		<b>Pos 5</b>	58,0	59,8	58,9	63,0	63,4	61,1	61,2	63,0	61,8	60,6	58,8	55,1	57,0	60,1	60,0	56,1
<b>B2</b>	<b>promedio</b>	40,2	39,5	39,0	37,6	39,2	35,7	34,2	33,0	30,1	29,1	31,4	31,7	27,2	26,4	23,2	18,9	
	<b>Pos 1</b>	39,2	40,3	36,4	36,5	38,3	36,6	31,6	33,1	31,0	32,2	34,3	34,2	28,6	23,3	20,9	18,2	
	<b>Pos 2</b>	40,8	36,5	35,0	35,7	37,7	31,5	30,0	28,0	28,5	27,3	33,6	34,4	28,7	23,2	21,0	13,3	
	<b>Pos 3</b>	41,1	38,2	36,9	36,8	38,5	35,2	33,1	32,1	27,3	26,4	27,1	26,5	24,9	26,0	23,4	19,3	
	<b>Pos 4</b>	39,7	40,2	40,7	39,3	40,3	38,3	38,4	35,6	32,5	30,3	30,8	30,7	27,7	31,0	27,1	22,7	
	<b>Pos 5</b>	39,7	40,8	42,0	38,6	40,4	33,9	32,2	32,9	29,1	25,1	23,8	26,0	24,4	20,2	18,0	14,9	
<b>T30</b>	<b>promedio</b>	1,02	1,37	1,46	1,70	1,72	1,59	1,72	1,74	1,65	1,53	1,57	1,69	1,67	1,71	1,56	1,50	
	<b>Pos 1</b>	0,823	0,900	1,278	1,990	1,787	1,639	1,672	1,698	1,696	1,520	1,562	1,671	1,737	1,736	1,574	1,495	
	<b>Pos 2</b>	0,783	1,187	1,278	1,636	1,695	1,640	1,695	1,747	1,677	1,509	1,519	1,688	1,726	1,752	1,580	1,479	
	<b>Pos 5</b>	1,449	1,691	1,635	1,732	1,693	1,539	1,740	1,753	1,623	1,553	1,595	1,702	1,627	1,692	1,557	1,517	
	<b>Pos 6</b>	3,659	1,691	1,645	1,732	1,693	1,539	1,759	1,753	1,600	1,553	1,595	1,679	1,605	1,669	1,536	1,517	
	<b>Corrección</b>																	
	<b>L2<sub>corregido</sub></b>	60,3	59,8	59,7	62,5	62,7	62,1	61,7	62,4	61,7	61,3	58,6	55,5	56,0	59,4	58,7	55,3	
	<b>Diferencia</b>	22,5	23,1	22,2	23,3	22,1	26,3	25,6	26,8	25,6	27,5	30,2	28,4	29,4	30,0	28,2	27,4	
	<b>Difer TR</b>	25,6	27,5	26,8	28,7	27,4	31,3	31,0	32,3	30,8	32,4	35,2	33,7	34,6	35,3	33,1	32,2	
	<b>ref ajuste</b>	13	16	19	22	25	28	31	32	33	34	35	36	36	36	36	36	

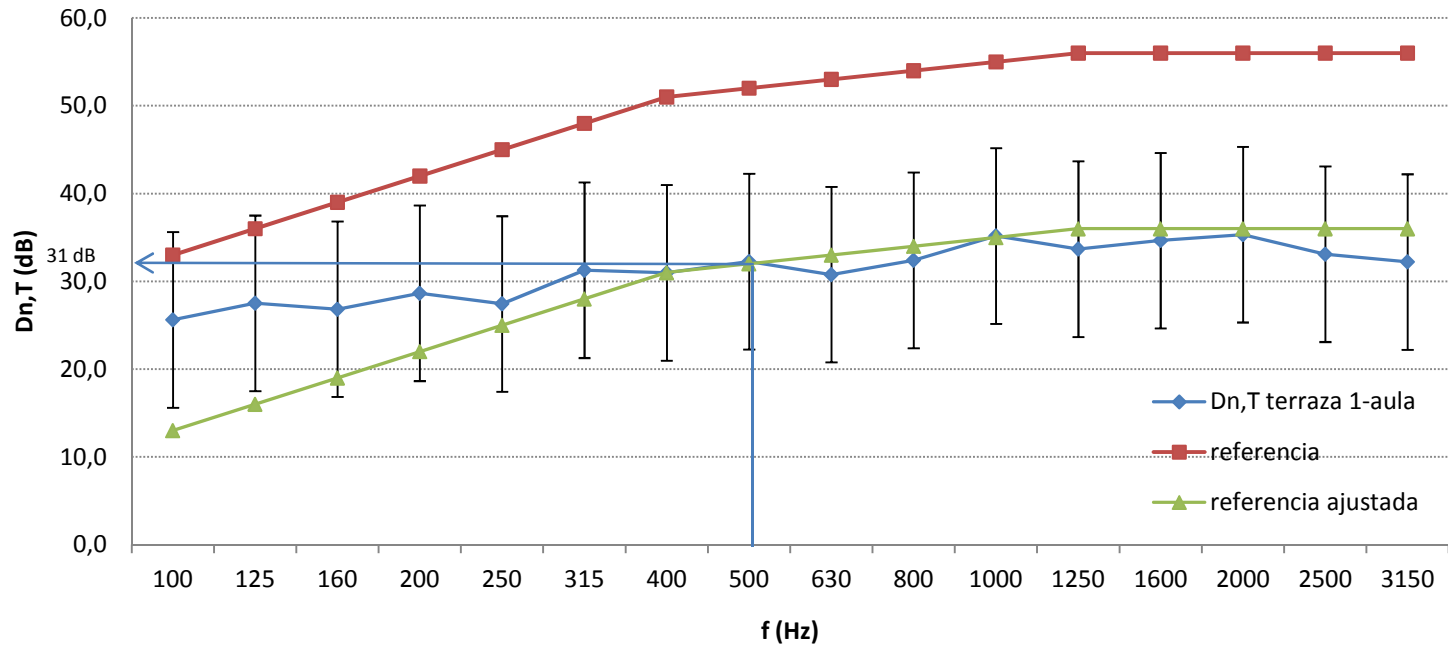
0,162\*V/T2

Sabine	A2	71,823	53,494	50,130	43,023	42,597	46,022	42,610	42,089	44,354	47,687	46,653	43,406	43,698	42,716	46,832	48,695
coef abs	α	0,163	0,1218	0,114	0,098	0,097	0,105	0,097	0,096	0,101	0,1085	0,106	0,099	0,099	0,0972	0,1066	0,111
	Volumen	m3		<b>451,5</b>													
	Superficie	total	m2	<b>439,3</b>													
								pA m2	pB m2	pC m2	pD m2	suelo m2	techo m2				
								35,71	23,5	23,5	31,81	162,4	162,4				

**Aula Master - Partición B**  
**EMISOR: Terraza 1 RECEPTOR: Aula**  
**Niveles**



**Dn,T Aula Master (Partición B)**  
**EMISOR: Terraza 1 RECEPTOR: Aula**  
**DnT,w(C;Ctr)=33(0;-1)**



UNE 717-1/2	frecuencia	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
	Referencia	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56

**PARTICIÓN C TERRAZA 2 AULA**

DnT,w=42(-1;-4)

<b>emisor:</b> Terraza 2	<b>L1 promedio</b>	81,9	85,5	85,5	84,8	83,7	85,8	82,3	86,4	86,4	85,5	81,9	79,9	78,2	81,9	81,8	78,1
	<b>Pos 1</b>	82,7	85,1	88,9	88,9	86,6	90,3	83,6	91,0	88,8	87,0	84,3	83,8	81,2	84,5	85,7	82,7
	<b>Pos 2</b>	82,6	84,4	86,1	83,0	83,2	85,7	84,0	86,2	87,4	85,7	81,4	78,7	77,0	83,6	82,4	72,7
	<b>Pos 3</b>	83,1	84,4	85,2	82,3	79,8	80,6	80,4	81,5	85,7	84,2	80,4	78,2	77,1	79,1	78,3	76,6
	<b>Pos 4</b>	82,2	89,5	82,1	85,0	82,4	83,3	80,3	82,2	83,7	84,8	82,0	78,1	76,8	79,2	77,0	75,8
	<b>Pos 5</b>	75,8	73,2	80,1	77,5	83,6	80,7	81,6	82,6	84,3	85,2	80,1	76,7	77,2	79,6	79,5	75,1

<b>receptor:</b> Aula	<b>L2 promedio</b>	52,3	54,6	55,2	61,0	58,2	56,4	53,5	52,2	48,9	46,2	44,6	40,4	39,8	39,7	38,1	39,4
	<b>Pos 1</b>	49,3	55,7	50,7	62,3	57,3	54,3	52,8	48,5	47,9	44,4	42,5	38,5	40,9	39,2	37,6	38,4
	<b>Pos 2</b>	53,7	56,0	55,9	65,0	58,2	60,0	54,3	55,3	50,4	47,4	46,6	42,1	39,6	40,5	39,7	41,6
	<b>Pos 3</b>	51,1	52,4	55,2	55,4	56,2	54,5	52,2	50,2	49,2	46,1	43,4	40,6	39,5	39,0	37,0	37,6
	<b>Pos 4</b>	52,4	52,9	53,6	56,7	56,4	54,5	51,9	52,0	46,1	44,8	44,3	39,6	38,8	38,8	36,2	38,2
	<b>Pos 5</b>	53,5	55,0	57,6	58,3	61,1	55,7	55,2	51,8	49,6	47,4	45,0	40,2	39,7	40,8	39,0	39,7

<b>B2</b>	<b>promedio</b>	40,2	39,5	39,0	37,6	39,2	35,7	34,2	33,0	30,1	29,1	31,4	31,7	27,2	26,4	23,2	18,9
	<b>Pos 1</b>	39,2	40,3	36,4	36,5	38,3	36,6	31,6	33,1	31,0	32,2	34,3	34,2	28,6	23,3	20,9	18,2
	<b>Pos 2</b>	40,8	36,5	35,0	35,7	37,7	31,5	30,0	28,0	28,5	27,3	33,6	34,4	28,7	23,2	21,0	13,3
	<b>Pos 3</b>	41,1	38,2	36,9	36,8	38,5	35,2	33,1	32,1	27,3	26,4	27,1	26,5	24,9	26,0	23,4	19,3
	<b>Pos 4</b>	39,7	40,2	40,7	39,3	40,3	38,3	38,4	35,6	32,5	30,3	30,8	30,7	27,7	31,0	27,1	22,7
	<b>Pos 5</b>	39,7	40,8	42,0	38,6	40,4	33,9	32,2	32,9	29,1	25,1	23,8	26,0	24,4	20,2	18,0	14,9

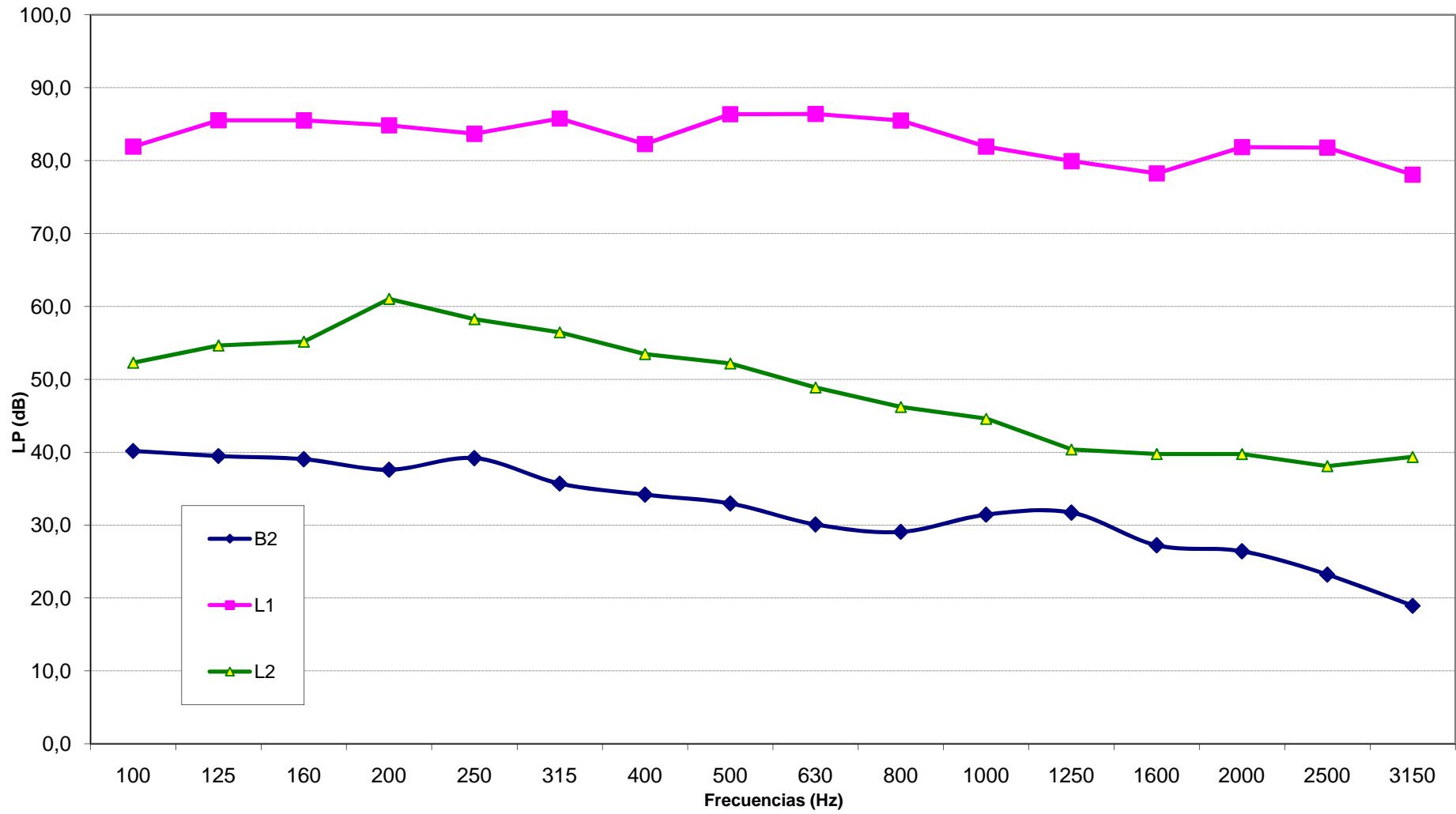
<b>T30</b>	<b>promedio</b>	1,02	1,37	1,46	1,70	1,72	1,59	1,72	1,74	1,65	1,53	1,57	1,69	1,67	1,71	1,56	1,50
	<b>Pos 1</b>	0,823	0,900	1,278	1,990	1,787	1,639	1,672	1,698	1,696	1,520	1,562	1,671	1,737	1,736	1,574	1,495
	<b>Pos 2</b>	0,783	1,187	1,278	1,636	1,695	1,640	1,695	1,747	1,677	1,509	1,519	1,688	1,726	1,752	1,580	1,479
	<b>Pos 5</b>	1,449	1,691	1,635	1,732	1,693	1,539	1,740	1,753	1,623	1,553	1,595	1,702	1,627	1,692	1,557	1,517
	<b>Pos 6</b>	3,659	1,691	1,645	1,732	1,693	1,539	1,759	1,753	1,600	1,553	1,595	1,679	1,605	1,669	1,536	1,517

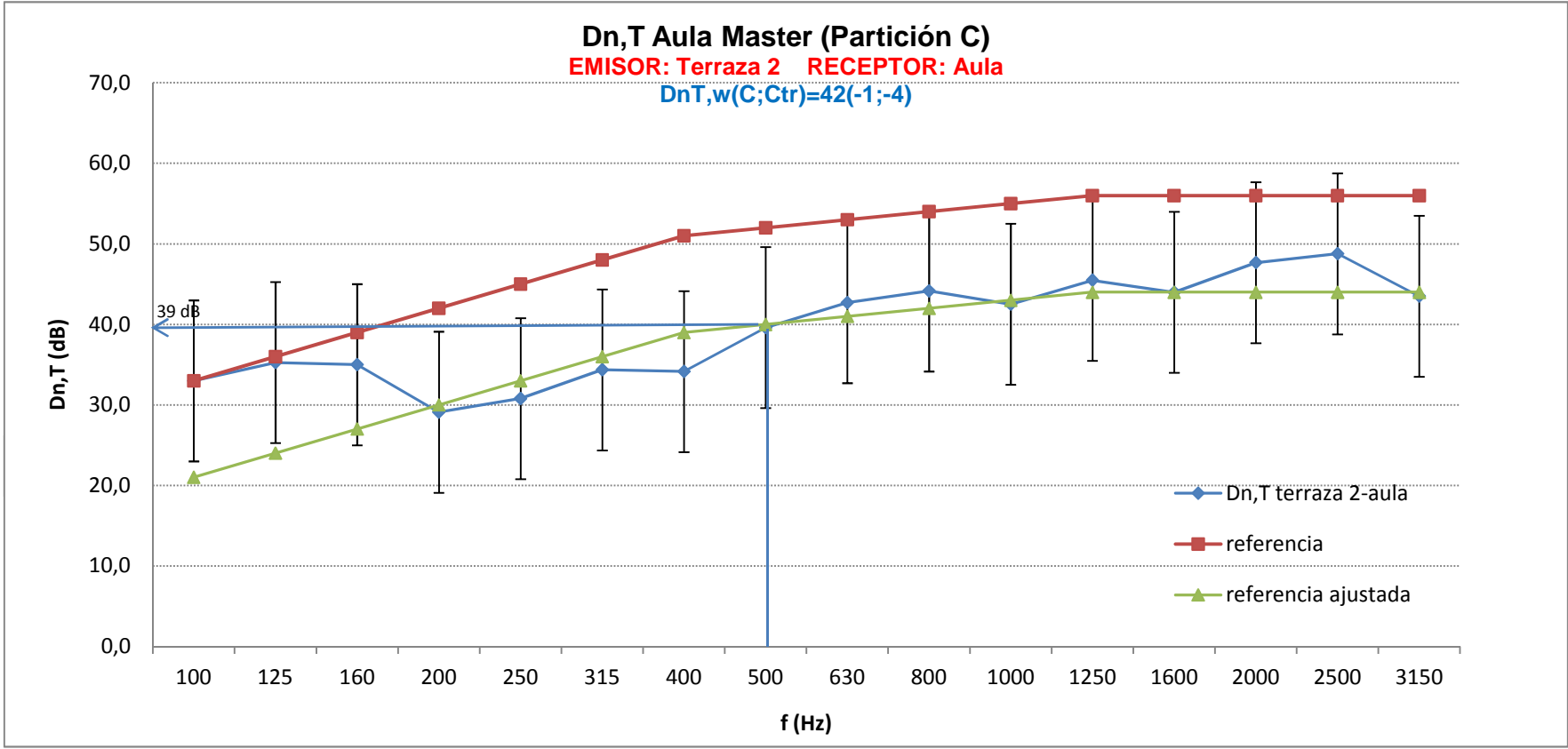
<b>Corrección LN alto</b>	LN alto											LN alto	LN alto	LN alto	LN alto	LN alto
<b>L2<sub>corregido</sub></b>	52,0	54,6	55,2	61,0	58,2	56,4	53,5	52,2	48,9	46,2	44,4	39,7	39,5	39,5	37,9	39,4
<b>Diferencia</b>	29,9	30,9	30,3	23,8	25,4	29,3	28,8	34,2	37,5	39,3	37,5	40,2	38,7	42,3	43,8	38,7
<b>Difer TR</b>	33,0	35,3	35,0	29,1	30,8	34,4	34,1	39,6	42,7	44,2	42,5	45,5	44,0	47,7	48,8	43,5
<b>ref ajuste</b>	21	24	27	30	33	36	39	40	41	42	43	44	44	44	44	44

0,162\*V/T2

Sabine	A2	71,823	53,494	50,130	43,023	42,597	46,022	42,610	42,089	44,354	47,687	46,653	43,406	43,698	42,716	46,832	48,695
coef abs	α	0,1635	0,122	0,114	0,098	0,097	0,105	0,097	0,0958	0,101	0,109	0,106	0,0988	0,0995	0,097	0,107	0,1108
	Volumen	m3		<b>451,5</b>													
	Superficie	total	m2	<b>439,3</b>		pA m2		pB m2		pC m2		pD m2		suelo m2		techo m2	
							35,71	23,5	23,5	31,81	162,4	162,4					

**Aula Master - Partición C**  
**EMISOR: Terraza 2 RECEPTOR: Aula**  
**Niveles**





UNE 717-1/2	frecuencia	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
	Referencia	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56

**PARTICIÓN D FACHADA AULA**

DnT,w=31(0;-2)

<b>emisor: Fachada</b>	<b>L1 promedio</b>	74,8	77,4	75,0	75,4	73,6	76,3	77,6	81,6	81,6	82,9	80,6	78,7	81,9	85,8	86,7	83,4
	<b>Pos 1</b>	77,4	77,7	75,6	77,1	76,1	80,6	78,3	82,4	81,4	85,5	81,3	81,1	85,5	90,3	92,2	88,8
	<b>Pos 2</b>	76,5	77,1	73,5	74,7	72,9	73,8	79,5	84,9	83,5	82,8	84,1	81,1	83,2	86,4	86,4	82,9
	<b>Pos 3</b>	70,7	79,8	76,2	75,0	72,4	75,3	76,8	79,2	80,6	80,7	77,7	77,2	81,2	82,2	81,2	79,0
	<b>Pos 4</b>	68,5	75,6	76,5	75,6	72,6	72,1	76,8	77,7	80,0	82,7	75,6	73,8	76,0	80,9	77,5	75,2
	<b>Pos 5</b>	74,9	75,2	70,7	74,1	72,5	74,0	75,4	79,6	81,8	80,8	79,4	75,4	75,6	79,8	78,1	75,0

<b>receptor: Aula</b>	<b>L2 promedio</b>	48,5	55,4	56,5	57,9	58,0	56,4	54,2	55,4	55,1	55,0	55,1	53,2	57,9	58,5	56,0	50,7
	<b>Pos 1</b>	45,8	52,6	54,5	54,9	56,1	55,1	51,3	52,5	54,5	52,6	54,8	53,5	55,1	57,0	53,3	48,4
	<b>Pos 2</b>	43,4	49,0	49,6	57,0	54,9	54,9	53,1	55,4	52,8	53,6	53,1	52,4	57,0	56,4	55,1	49,0
	<b>Pos 3</b>	46,0	51,6	53,7	55,9	61,1	56,3	54,4	53,4	51,2	53,3	54,6	53,8	57,8	58,1	54,5	49,8
	<b>Pos 4</b>	48,0	59,2	59,7	58,9	57,2	58,5	56,4	57,7	57,2	57,1	54,6	3,5	59,3	60,5	57,9	52,3
	<b>Pos 5</b>	52,9	57,1	58,3	60,5	57,8	56,1	54,3	56,1	56,9	56,6	57,3	56,2	59,2	59,2	57,6	52,5

<b>B2</b>	<b>promedio</b>	40,2	39,5	39,0	37,6	39,2	35,7	34,2	33,0	30,1	29,1	31,4	31,7	27,2	26,4	23,2	18,9
	<b>Pos 1</b>	39,2	40,3	36,4	36,5	38,3	36,6	31,6	33,1	31,0	32,2	34,3	34,2	28,6	23,3	20,9	18,2
	<b>Pos 2</b>	40,8	36,5	35,0	35,7	37,7	31,5	30,0	28,0	28,5	27,3	33,6	34,4	28,7	23,2	21,0	13,3
	<b>Pos 3</b>	41,1	38,2	36,9	36,8	38,5	35,2	33,1	32,1	27,3	26,4	27,1	26,5	24,9	26,0	23,4	19,3
	<b>Pos 4</b>	39,7	40,2	40,7	39,3	40,3	38,3	38,4	35,6	32,5	30,3	30,8	30,7	27,7	31,0	27,1	22,7
	<b>Pos 5</b>	39,7	40,8	42,0	38,6	40,4	33,9	32,2	32,9	29,1	25,1	23,8	26,0	24,4	20,2	18,0	14,9

<b>T30</b>	<b>promedio</b>	1,02	1,37	1,46	1,70	1,72	1,59	1,72	1,74	1,65	1,53	1,57	1,69	1,67	1,71	1,56	1,50
	<b>Pos 1</b>	0,823	0,900	1,278	1,990	1,787	1,639	1,672	1,698	1,696	1,520	1,562	1,671	1,737	1,736	1,574	1,495
	<b>Pos 2</b>	0,783	1,187	1,278	1,636	1,695	1,640	1,695	1,747	1,677	1,509	1,519	1,688	1,726	1,752	1,580	1,479
	<b>Pos 5</b>	1,449	1,691	1,635	1,732	1,693	1,539	1,740	1,753	1,623	1,553	1,595	1,702	1,627	1,692	1,557	1,517
	<b>Pos 6</b>	3,659	1,691	1,645	1,732	1,693	1,539	1,759	1,753	1,600	1,553	1,595	1,679	1,605	1,669	1,536	1,517

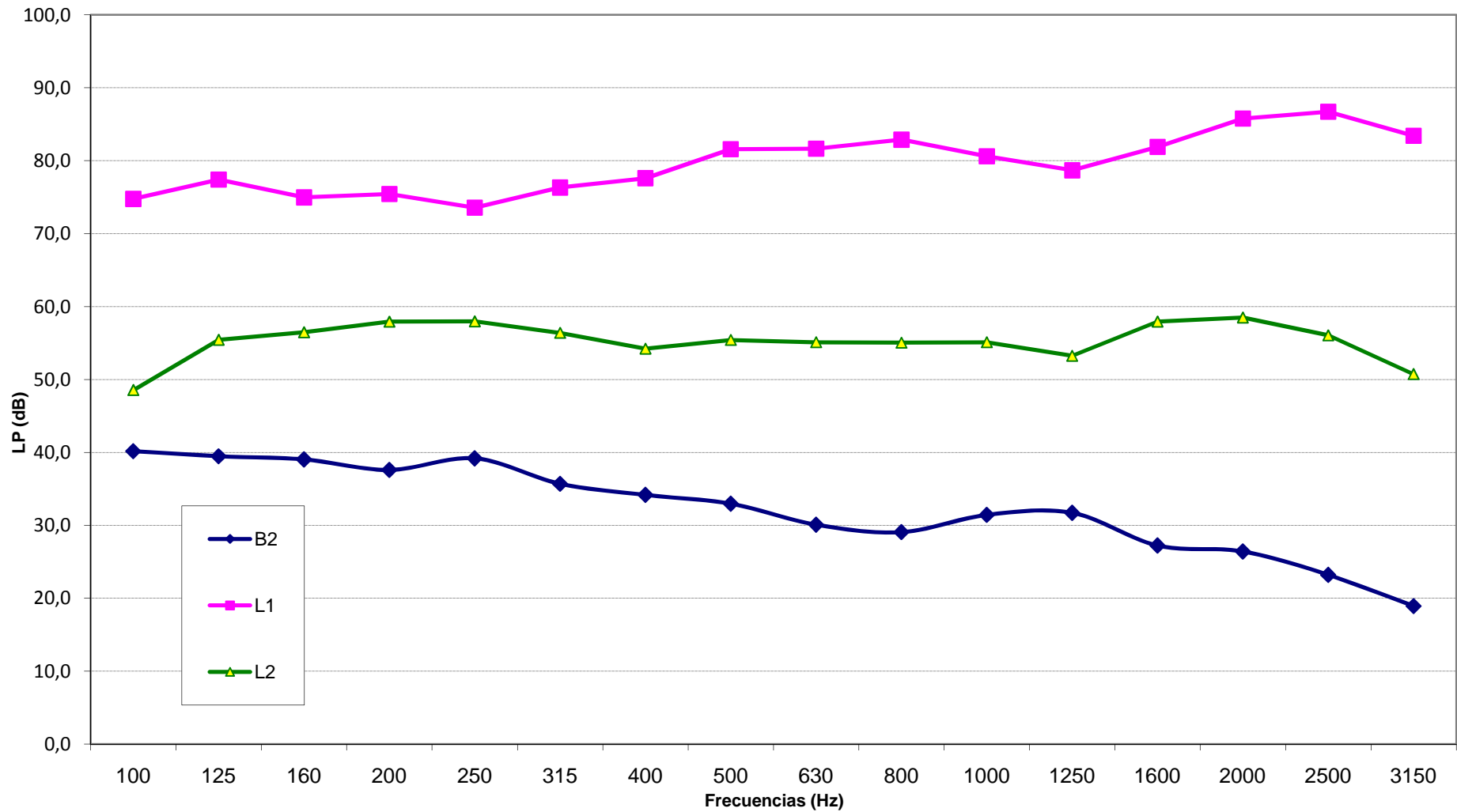
**Corrección LN alto**

<b>L2<sub>corregido</sub></b>	47,9	55,4	56,5	57,9	58,0	56,4	54,2	55,4	55,1	55,0	55,1	53,2	57,9	58,5	56,0	50,7
<b>Diferencia</b>	26,9	22,0	18,5	17,5	15,6	19,9	23,4	26,1	26,5	27,8	25,5	25,4	23,9	27,3	30,7	32,7
<b>Difer TR</b>	30,0	26,3	23,1	22,8	21,0	25,0	28,7	31,6	31,7	32,7	30,5	30,7	29,2	32,6	35,6	37,5
<b>ref ajuste</b>	13	16	19	22	25	28	31	32	33	34	35	36	36	36	36	36

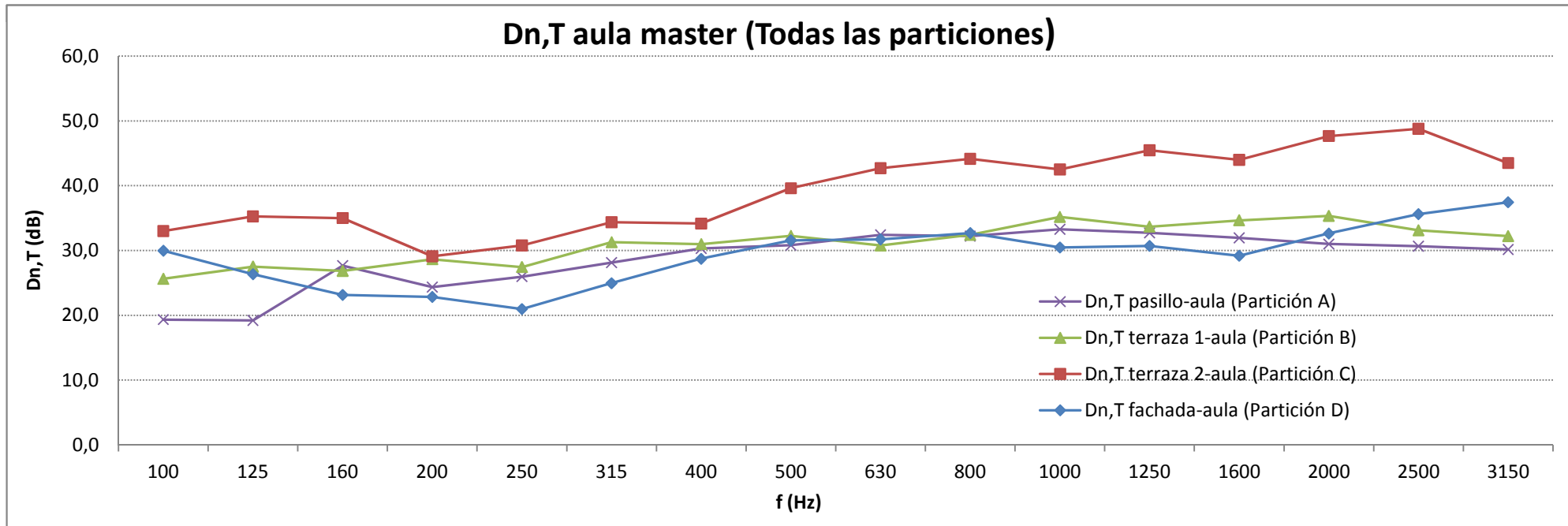
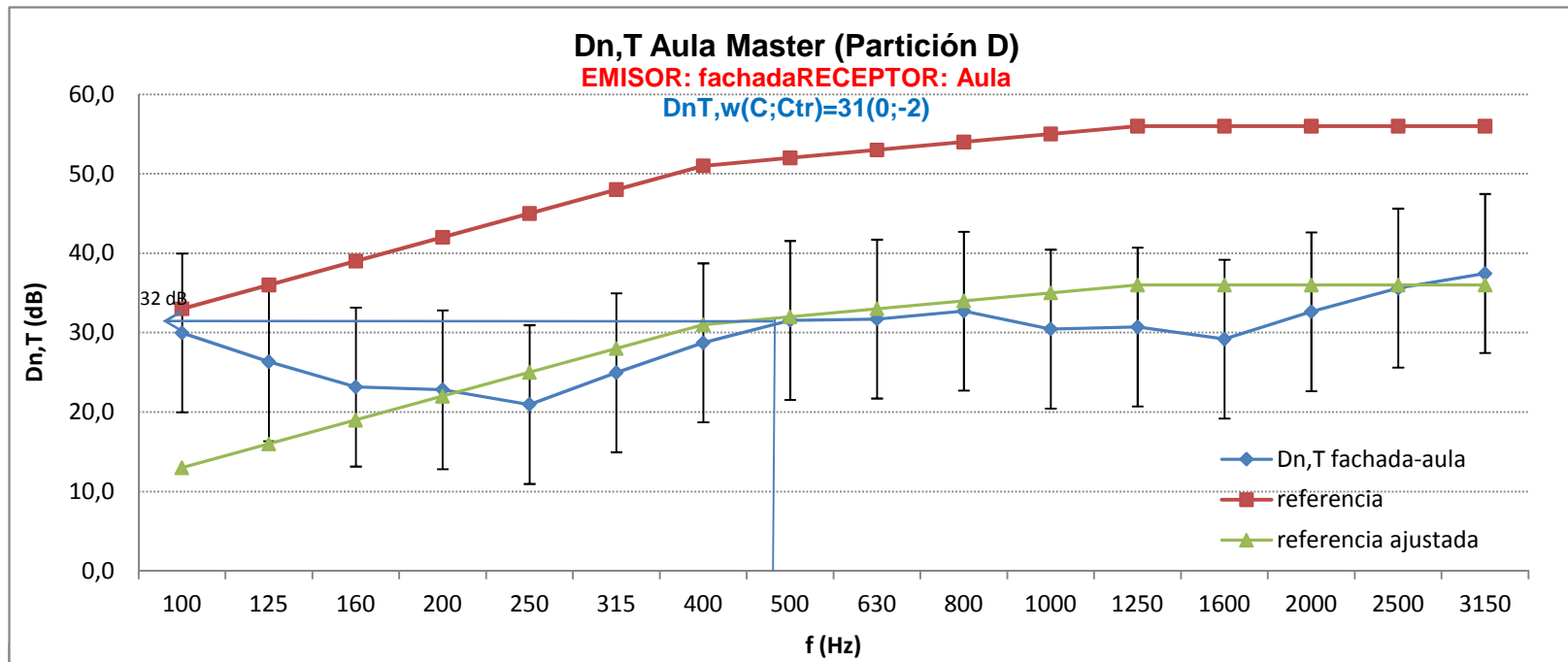
0,162\*V/T2

Sabine	A2	71,823	53,494	50,130	43,023	42,597	46,022	42,610	42,089	44,354	47,687	46,653	43,406	43,698	42,716	46,832	48,695
coef abs	α	0,1635	0,1218	0,114	0,098	0,097	0,1048	0,097	0,096	0,101	0,109	0,1062	0,099	0,099	0,097	0,1066	0,111
	Volumen	m3		<b>451,5</b>													
	Superficie	total	m2	<b>439,3</b>													
							pA m2	pB m2	pC m2	pD m2	suelo m2	techo m2					
							35,71	23,5	23,5	31,81	162,4	162,4					

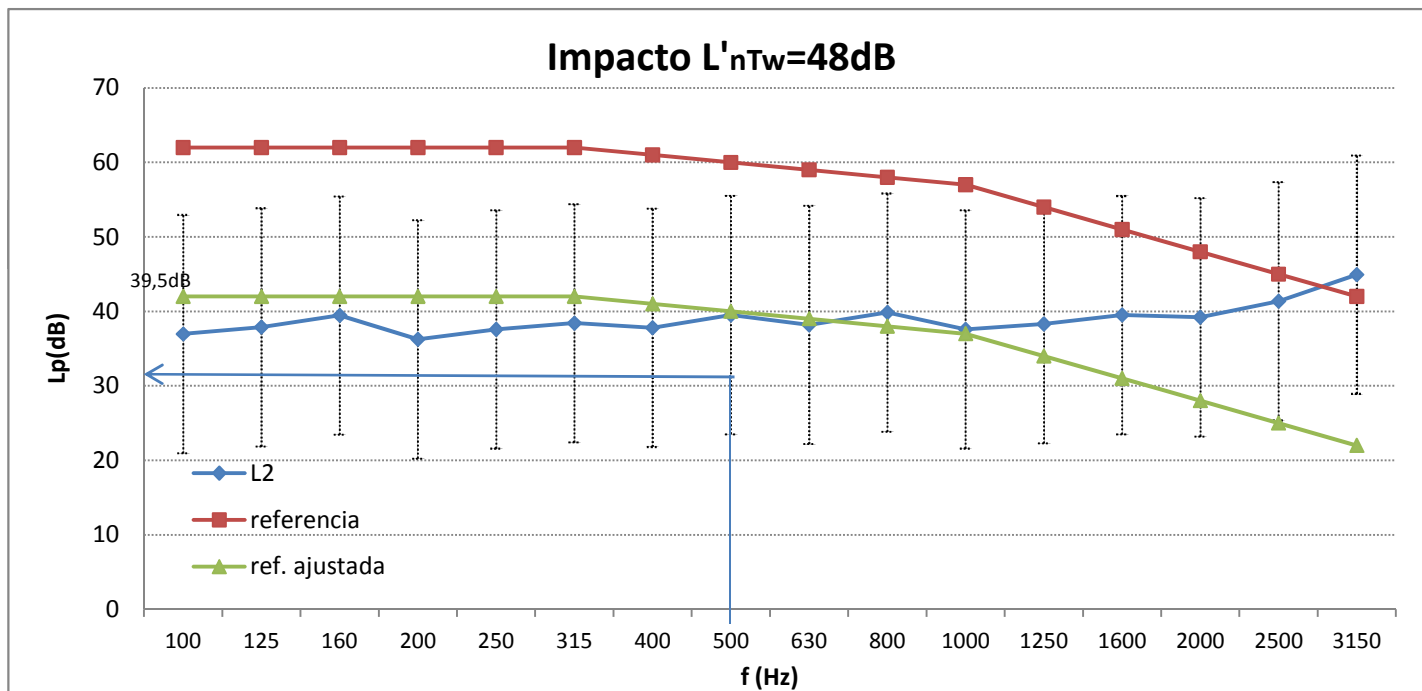
**Aula Master - Partición D**  
**EMISOR: Fachada RECEPTOR: Aula**  
**Niveles**







	frecuencia	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
impacto	Pos 1	39,9	42,8	44,3	43,0	42,9	44,0	41,8	45,4	43,9	44,3	42,4	43,1	44,7	44,2	47,6	51,6
	Pos 2	40,2	41,6	43,9	39,4	43,0	42,8	44,2	44,4	42,8	45,1	42,7	44,0	44,8	44,9	44,5	46,3
	promedio	40,1	42,2	44,1	41,6	43,0	43,4	43,2	44,9	43,4	44,7	42,6	43,6	44,8	44,6	46,3	49,7
t rev receptor T		1,02	1,37	1,46	1,70	1,72	1,59	1,72	1,74	1,65	1,53	1,57	1,69	1,67	1,71	1,56	1,50
L-10lg(T/0'5) L'n,T		37,0	37,9	39,5	36,2	37,6	38,4	37,8	39,5	38,2	39,9	37,6	38,3	39,5	39,2	41,4	44,9
ref 717/2		62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	61,0	60,0	59,0	58,0	57,0	54,0	51,0	48,0	45,0	42,0
ref ajust		42	42	42	42	42	42	41	40	39	38	37	34	31	28	25	22



## 10. CONCLUSIONES.

### FONDO

Se han representado los valores de nivel medio (calculado mediante promedio energético) de presión de fondo en decibelios frente a la frecuencia tomados en distintas posiciones. De ellos destacar su tendencia decreciente cuando aumenta la frecuencia, y en las medidas correspondientes a las posiciones 2 y 1 en torno a las frecuencias de 1000 Hz, además de otro pico en la posición 4 en 2000 Hz. Estas variaciones probablemente se deban a influencias externas como el ruido exterior de tráfico y el viento, los conductos de ventilación del edificio, el tránsito de personas por los pasillos y las clases que estaban siendo impartidas en las aulas adyacentes.

### NC

Las curvas de referencia Noise Criteria NC establecen los niveles máximos de ruido que pueden estar llegando a un aula, para que las actividades de clase se desarrollen adecuadamente. Representando esas curvas y el ruido de fondo se puede establecer por comparación a qué nivel corresponde el aula, puede observarse que se trata de un NC-35 al encontrarse el nivel promedio de fondo por debajo de esa curva.

### ESTUDIO POR PARTICIONES

Se han denominado a las particiones de la siguiente manera:

Partición	Local emisor	Local receptor
A	Pasillo	aula
B	Terraza 1	aula
C	Terraza 2	aula
D	Fachada	aula

Se ha representado para cada una de ellas los promedios de nivel de fondo  $B_2$ , el nivel  $L_1$  en el local emisor y el nivel  $L_2$  en el local receptor (aula).

### $D_{n,T}$ AISLAMIENTO ACÚSTICO NORMALIZADO

Partiendo del promedio de niveles  $L_2$  y  $B_2$  se calcula el nivel  $L_2$  corregido de la siguiente manera:

$$L_2^{corr} = L_2 \ominus B_2 = 10 \cdot \log \left\{ 10^{\frac{L_2}{10}} - 10^{\frac{B_2}{10}} \right\}$$

$$D = L_1 - L_2^{corr}$$

$$D_{n,T} = D + 10 \cdot \log \left( \frac{T_2}{0.5} \right)$$

De ahí, conociendo el aislamiento puede calcularse el coeficiente de absorción despejando de la fórmula de Sabine:

$A_2 = \frac{0.162 \cdot V}{T_2}$ , donde  $T_2$  es el tiempo de reverberación, promediado a partir de una serie de medidas tomadas en el aula. De las 6 que se tomaron, 2 tenían una elevada dispersión, por lo que se descartaron. De las 4 restantes, se observa cierta uniformidad entre ellas, excepto en dos valores correspondientes a las frecuencias de 100 Hz y 200 Hz, probablemente debidas a la frecuencia de las luminarias y sus múltiplos y a que los paneles de *pladur* y los tableros fenólicos actúan como una membrana, por lo que al promediar las medidas en esas frecuencias, se eliminó el valor más disperso.

Una vez se tiene el  $D_{n,T}$ , se representa para cada partición junto con la referencia de la ISO 717 y la curva de referencia ajustada para el valor de 500 Hz, de modo que pueda apreciarse de forma gráfica el aislamiento entre el local emisor y el local receptor.

La mejora del aula destinada a palabra se consigue disminuyendo el tiempo de reverberación del recinto, buscando para ello materiales absorbentes que conformen las paredes de cerramiento de la estancia. Dado que la absorción depende de la frecuencia, a bajas frecuencias, los materiales como el *pladur*, que presumiblemente se ha empleado en las particiones del aula estudiada, actúan de membrana, de ahí que en el cálculo de la absorción por la ecuación de Sabine se obtengan elevados valores para las frecuencias bajas y después decrezcan. Si el material absorbente fuese poroso, el coeficiente aumentaría con la frecuencia, y requeriría un mayor espesor para ejercer una absorción efectiva a bajas frecuencias.

## 11. INFORMES DE CUMPLIMIENTO DE CÓDIGO TÉCNICO

A partir de la aplicación preparada por el Ministerio de Fomento y del catálogo de soluciones constructivas vinculado a él, se trata de identificar los materiales y soluciones más parecidas a la realidad objeto de estudio, incluyendo medidas y aquellos parámetros que permitan completar el análisis general de transmisión acústica del aula objeto de estudio, de forma que pueda determinarse el cumplimiento de la normativa.

El extracto de los resultados se adjunta a continuación.

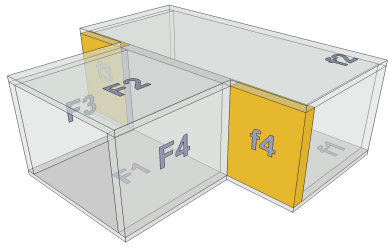
Puede observarse que para las particiones correspondientes a ruido aéreo en fachada y terrazas sí se cumple, pero no la partición correspondiente al pasillo.

A impacto sí cumple.

## Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.

Caso: Recintos adyacentes con 2 aristas comunes. Transmisión horizontal. Caso A

Proyecto		
Autor		
Fecha		
Referencia		

Características técnicas del recinto 1							
Tipo de recinto como emisor	Unidad de uso						
Tipo de recinto como receptor	-	Volumen	451,5 m <sup>3</sup>				
<b>Soluciones Constructivas</b>							
Separador	Enl 15 + LHD 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Suelo F1	LM 300 mm						
Techo F2	LM 300 mm						
Pared F3	RE + CV + AT + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared F4	RE + CV + AT + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
<b>Parámetros Acústicos</b>							
	S <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	l <sub>i</sub> (m)	m' <sub>i</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	R <sub>A</sub> (dBA)	L <sub>n,w</sub> (dB)	ΔR <sub>A</sub> (dBA)	ΔL <sub>w</sub> (dB)
Separador	35,71	-	127	40	-	15	-
Suelo F1	162,33	12,84	750	67	63	7	16
Techo F2	162,33	12,84	750	67	63	0	0
Pared F3	37,5	2,78	156	42	-	-	-
Pared F4	37,5	2,78	156	42	-	-	-

Características técnicas del recinto 2							
Tipo de recinto como emisor	Otros recintos(*)						
Tipo de recinto como receptor	Habitable	Volumen	71,28 m <sup>3</sup>				
<b>Soluciones Constructivas</b>							
Separador	Enl 15 + LHD 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Suelo f1	LM 300 mm						
Techo f2	LM 300 mm						
Pared f3	Enl 15 + LHD 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared f4	Enl 15 + LHD 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
<b>Parámetros Acústicos</b>							
	S <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	l <sub>i</sub> (m)	m' <sub>i</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	R <sub>A</sub> (dBA)	L <sub>n,w</sub> (dB)	ΔR <sub>A</sub> (dBA)	ΔL <sub>w</sub> (dB)
Separador	35,71	-	127	40	-	42	-
Suelo f1	25,45	12,84	750	67	63	7	16
Techo f2	25,45	12,84	750	67	63	0	0
Pared f3	8	2,78	127	40	-	42	-
Pared f4	8,26	2,78	127	40	-	42	-

Huecos en el separador y vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Ventanas, puertas y lucernarios	superficie	S (m <sup>2</sup> )	7,73
	índice de reducción	R <sub>A</sub> (dBA)	30
Vías de transmisión aérea	transmisión directa	D <sub>n,e,A</sub> (dBA)	0
	transmisión indirecta	D <sub>n,s,A</sub> (dBA)	0



## Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.  
Caso: Recintos adyacentes con 2 aristas comunes. Transmisión horizontal. Caso A

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	$K_{Ff}$	$K_{Fd}$	$K_{Df}$
separador - suelo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 2)	-1,78	9,09	9,09
separador - techo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 1)	-1,78	9,09	9,09
separador - pared	Unión en T de doble hoja y elementos homogéneos (orientación 9)	5,75	5,75	7,00
separador - pared	Unión en T de doble hoja y elementos homogéneos (orientación 9)	5,75	5,75	7,00

Transmisión del recinto 1 al recinto 2			
		Cálculo	Requisito
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{nT,A}$ (dBA)	35	-
Aislamiento acústico a ruido de impacto	$L'_{nT,w}$ (dB)	27	-

Transmisión del recinto 2 al recinto 1				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{nT,A}$ (dBA)	43	50	NO CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	$L'_{nT,w}$ (dB)	28	65	CUMPLE

Proyecto		
Autor		
Fecha		
Referencia		

Características técnicas de la fachada y edificio							
Tipo de Ruido Exterior	Automóviles			$L_d$ (dBA)	60		
Forma de fachada	Plano de Fachada			$\Delta L_{fs}$ (dB)	0		
<b>Soluciones Constructivas</b>							
Sección Separador	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F1	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F2	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F3	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F4	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
<b>Parámetros Acústicos</b>							
	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	$l_i$ (m)	$m'_i$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_{A,tr}$ (dBA)	$R_A$ (dBA)		
Sección Separador	37,5022	-	157	51	56	-	-
Sección Flanco F1	25,02	9,93	157	51	56	-	-
Sección Flanco F2	27,6	9,93	157	51	56	-	-
Sección Flanco F3	7,9508	2,78	157	51	56	-	-
Sección Flanco F4	7,9508	2,78	157	51	56	-	-

Características técnicas del recinto receptor							
Tipo de Recinto	Cultural, sanitario, docente y administrativo Aulas			Volumen	400 m <sup>3</sup>		
<b>Soluciones Constructivas</b>							
Sección Separador	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Suelo f1	LM 300 mm						
Techo f2	LM 300 mm						
Pared f3	RE + AT + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared f4	RE + AT + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
<b>Parámetros Acústicos</b>							
	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	$l_i$ (m)	$m'_i$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_A$ (dBA)	$R_{A,tr}$ (dBA)	$\Delta R_A$ (dBA)	
Sección Separador	37,5022	-	157	56	51	0	-
Suelo f1	162,33	9,93	750	67	-	7	-
Techo f2	162,33	9,93	750	67	-	0	-
Pared f3	7,9508	2,78	161	42	-	8	-
Pared f4	7,9508	2,78	161	42	-	8	-

Huecos en el separador					
Ventanas, puertas y lucernarios		$S$ (m <sup>2</sup> )	$R_{A,tr}$ (dBA)	$R_A$ (dBA)	$\Delta R$ (dB)
	Hueco 1	8,43	30	34	-3
	Hueco 2	2	0	0	0
	Hueco 3	3	0	0	0
	Hueco 4	4	0	0	0

Vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Vías de transmisión aérea	transmisión directa I	$D_{n,e1,A}$ (dBA)	20
	transmisión directa II	$D_{n,e2,A}$ (dBA)	-
	transmisión indirecta	$D_{n,s,A}$ (dBA)	-

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	$K_{Ff}$	$K_{Fd}$	$K_{Df}$
fachada - suelo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	8,33	17,91	8,33
fachada - techo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	8,33	17,91	8,33
fachada - pared	Unión rígida en + de elementos homogéneos	8,70	8,89	8,70
fachada - pared	Unión rígida en + de elementos homogéneos	8,70	8,89	8,70

Transmisión de ruido del exterior				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{2m,nT,Atr}$ (dBA)	31	30	CUMPLE



Proyecto		
Autor		
Fecha		
Referencia		

Características técnicas de la fachada y edificio							
Tipo de Ruido Exterior	Automóviles			$L_d$ (dBA)	60		
Forma de fachada	Plano de Fachada			$\Delta L_{fs}$ (dB)	0		
<b>Soluciones Constructivas</b>							
Sección Separador	UVA 8-(12...20)-6						
Sección Flanco F1	UVA 8-(12...20)-6						
Sección Flanco F2	UVA 8-(12...20)-6						
Sección Flanco F3	UVA 8-(12...20)-6						
Sección Flanco F4	UVA 8-(12...20)-6						
<b>Parámetros Acústicos</b>							
	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	$l_i$ (m)	$m'_i$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_{A,tr}$ (dBA)	$R_A$ (dBA)		
Sección Separador	31,9422	-	35	29	33	-	-
Sección Flanco F1	31,9422	11,49	35	29	33	-	-
Sección Flanco F2	31,9422	11,49	35	29	33	-	-
Sección Flanco F3	31,9422	2,78	35	29	33	-	-
Sección Flanco F4	31,9422	2,78	35	29	33	-	-

Características técnicas del recinto receptor							
Tipo de Recinto	Cultural, sanitario, docente y administrativo Aulas			Volumen	400 m <sup>3</sup>		
<b>Soluciones Constructivas</b>							
Sección Separador	UVA 8-(12...20)-6						
Suelo f1	LM 300 mm						
Techo f2	LM 300 mm						
Pared f3	RE + CV + AT + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared f4	RE + CV + AT + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
<b>Parámetros Acústicos</b>							
	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	$l_i$ (m)	$m'_i$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_A$ (dBA)	$R_{A,tr}$ (dBA)	$\Delta R_A$ (dBA)	
Sección Separador	31,9422	-	35	33	29	0	-
Suelo f1	162,33	11,49	750	67	-	7	-
Techo f2	162,33	11,49	750	67	-	0	-
Pared f3	41,7	2,78	156	42	-	8	-
Pared f4	41,7	2,78	156	42	-	8	-

Huecos en el separador					
Ventanas, puertas y lucernarios		$S$ (m <sup>2</sup> )	$R_{A,tr}$ (dBA)	$R_A$ (dBA)	$\Delta R$ (dB)
	Hueco 1	31,9422	30	34	-3
	Hueco 2	2	0	0	0
	Hueco 3	3	0	0	0
	Hueco 4	4	0	0	0

Vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Vías de transmisión aérea	transmisión directa I	$D_{n,e1,A}$ (dBA)	40
	transmisión directa II	$D_{n,e2,A}$ (dBA)	-
	transmisión indirecta	$D_{n,s,A}$ (dBA)	-

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	$K_{Ff}$	$K_{Fd}$	$K_{Df}$
fachada - suelo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	15,80	34,56	15,80
fachada - techo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	15,80	34,56	15,80
fachada - pared	Unión de elementos homogéneos y fachadas ligeras (orientación 2)	16,49	11,49	16,49
fachada - pared	Unión de elementos homogéneos y fachadas ligeras (orientación 2)	16,49	11,49	16,49

Transmisión de ruido del exterior				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{2m,nT,Atr}$ (dBA)	36	30	CUMPLE

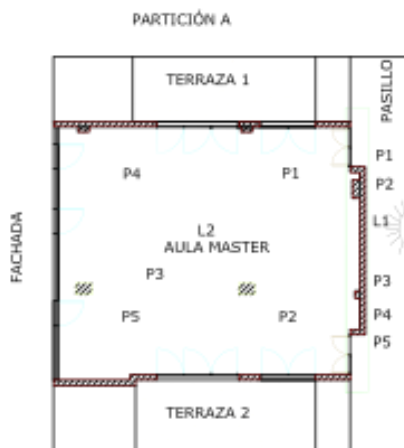
**12. ANEXOS**

**Esquemas de medición y fotografías.**

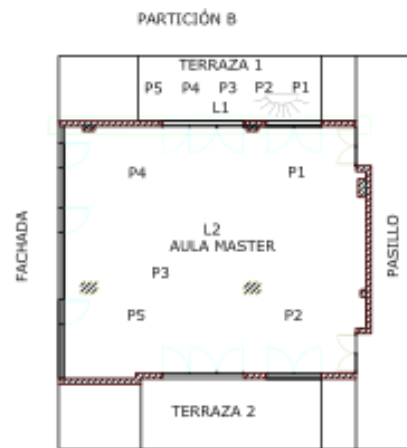
Medida del tiempo de reverberación



Medidas en la partición A



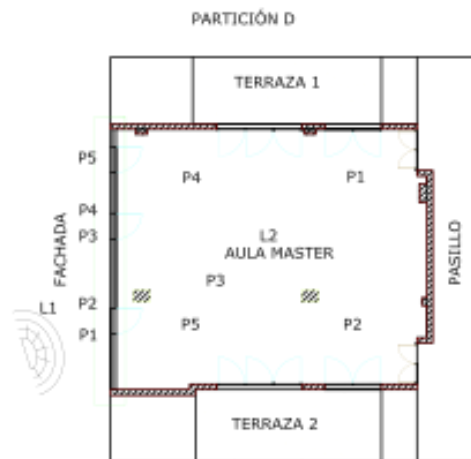
Medidas en la partición B



Medidas en la partición C



Medidas en la partición D





Emisor de impulsos sonoros.  
Aplicación *Dirac* de B&K  
Para medir tiempo de reverberación.



Amplificador de guitarra.  
Para medir tiempo de reverberación.



Micrófono, para recoger la señal.  
Para medir tiempo de reverberación.



Fuente sonora: altavoz.  
Para emitir ruido aéreo



Máquina normalizada de impactos.  
Para emitir ruido de impacto.



Sonómetro.  
Para tomar lecturas de niveles de intensidad sonora, a ruido aéreo y a ruido de impacto.



Aula Master



Aula Master



Fuente en pasillo (Partición A)



Fuente en terrazas  
(Particiones B y C)



Fuente en exterior (Partición D)



Medida para ruido aéreo en fachadas (Partición D)



Tiempo de reverberación



Máquina de impactos



Medición

## 13. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ SÁNCHEZ DEL RÍO, Carlos, *Física en su evolución histórica*, Madrid, Editorial de la Universidad Complutense, 1986.
- ✓ COBO PARRA, Pedro, *Control activo del ruido. Principios y aplicaciones*, Madrid, Publicaciones CSIC, 1997.
- ✓ LLINARES, J., LLOPIS, A., SANCHO, J., *Acústica arquitectónica y urbanística*, Valencia, SPUPV, 1996.
- ✓ Gobierno de España, Ministerio de Fomento, *Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HR*, 2006.
- ✓ Norma UNE EN ISO 140-4 *Aislamiento acústico de los edificios y de los elementos de construcción. Medición in situ del aislamiento a ruido aéreo entre locales*, 1999.
- ✓ Norma UNE EN ISO 140-5 *Aislamiento acústico de los edificios y de los elementos de construcción. Medición in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de fachadas y de elementos de fachadas*, 1999.
- ✓ Norma UNE EN ISO 140-7 *Aislamiento acústico de los edificios y de los elementos de construcción. Medición in situ del aislamiento acústico de suelos a ruido de impacto*, 1999.
- ✓ Norma UNE EN ISO 717 *Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo*, 1997.
- ✓ Norma UNE EN ISO 717 *Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impacto*, 1997.
- ✓ Norma UNE EN 12354 *Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos*, 2000.
- ✓ Norma UNE EN 12354 *Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impacto entre recintos*, 2001.
- ✓ Norma UNE EN 12354 *Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo contra ruido de exterior*, 2001.
- ✓ *Página web del Ayuntamiento de Valencia.*
- ✓ NBE CA-88 – Condiciones Acústicas en los Edificios.
- ✓ Mathias Meisser – Acústica de los Edificios; Editores Técnicos Asociados S.A.
- ✓ [www.jjriveroehijos.com](http://www.jjriveroehijos.com) – Instalaciones Juan José Rivero e Hijos S. L.
- ✓ [www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_01\\_02/estudios\\_de\\_grabacion](http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_01_02/estudios_de_grabacion)  
Juan Ignacio Arribas, Ph.D.
- ✓ <http://acusticarquitectonicaymedioambiental.blogspot.com/2009/03/materiales-absorbentes.html>
- ✓ <http://portal.danosa.com>
- ✓ [http://www.isover.net/asesoria/manuales/edificacion/Acustica\\_absorbentes.pdf](http://www.isover.net/asesoria/manuales/edificacion/Acustica_absorbentes.pdf)
- ✓ Guía Acústica de la construcción. Fco Javier Rodríguez Rodríguez, Javier de la Puente Crespo
- ✓ Diseño acústico de espacios arquitectónico. Antoni Carrión Isbert
- ✓ [http://www.acusticaintegral.com/absorbentes\\_acusticos\\_index.htm](http://www.acusticaintegral.com/absorbentes_acusticos_index.htm)