



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Evaluación mediante ensayos “in situ” de las condiciones acústicas del
Aula de Grado del CUD: Aislamiento y acondicionamiento*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Pablo Toubes Tova

DIRECTORES: Francisco Javier Rodríguez Rodríguez
Sandra Castro Cao

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Evaluación mediante ensayos “in situ” de las condiciones acústicas del aula de grado del CUD: Aislamiento y acondicionamiento

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

El presente trabajo posee como objeto evaluar mediante ensayos “in situ” las condiciones acústicas del Aula de Grado del Centro Universitario de la Defensa (CUD) de la Escuela Naval Militar (ENM), en relación al aislamiento y acondicionamiento. Así, se determinaron las condiciones acústicas del Aula mediante la medición y el diagnóstico de una serie de magnitudes siguiendo las normas UNE EN ISO 16283-1, UNE EN ISO 140-5, UNE EN ISO 140-4 y UNE EN ISO 3382. En este sentido, el tiempo de reverberación, parámetro fundamental para determinar el acondicionamiento interior, está relacionado con la persistencia temporal de la energía acústica proveniente del foco sonoro y depende, fundamentalmente, de las dimensiones, geometría y acabados interiores. De este parámetro dependen, a su vez, una serie de magnitudes de “ajuste fino” relacionados también con la calidad acústica: Definición (D), Claridad de voz (C50), Claridad musical (C80) e inteligibilidad.

Por otra parte, han de conseguirse unos aislamientos acústicos a ruido aéreo y a ruido de impacto respecto a otros recintos y respecto al exterior para desarrollar de modo correcto el uso al que se encuentra destinada el Aula.

En este sentido, el marco normativo regulador de las condiciones acústicas, Documento Básico DB-HR “Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación (CTE), establece exigencias de aislamiento y acondicionamiento acústico para nuevos recintos de uso docente (aulas y salas de conferencias) y la posibilidad de verificación “in situ” del cumplimiento de los requisitos establecidos.

PALABRAS CLAVE

Documento Básico DB-HR “Protección frente al ruido”, ensayos “in situ”, normas UNE EN ISO 16283-1, UNE EN ISO 140-5, UNE EN ISO 140-4 y UNE EN ISO 3382.

AGRADECIMIENTOS

En este trabajo quiero expresar mi agradecimiento a la Escuela Naval Militar y al Centro Universitario de la Defensa por haberme dado la oportunidad de completar con garantías mi formación como futuro oficial de la Armada Española.

Quiero agradecer a los directores de este Trabajo de Fin de Grado, D. Francisco Javier Rodríguez Rodríguez y Dña. Sandra Castro Cao, cuya entrega incondicional, dedicación y total disponibilidad han sido de gran ayuda para la realización de este proyecto.

De manera más personal, me gustaría agradecer a mi familia, a Elena y a mi padrino Carlos Aparicio por todo el apoyo que he recibido por su parte durante mi estancia en la Escuela Naval. Mención especial a mi padre, me gustaría haber compartido contigo todos estos años.

Por otro lado, también quería agradecer al Ingeniero Industrial D. Víctor Martínez Cacharrón (asesor técnico acústico), que, de manera totalmente desinteresada, nos ha ayudado a la realización de los ensayos “in situ”, no solo aportando el material necesario para su realización sino su amplia experiencia.

También quería agradecer D. José Mel Fraga, así como al personal de mantenimiento de la Escuela Naval Militar, por facilitarme la labor de búsqueda de información del aula de grado analizada durante la realización de los ensayos.

Por último, quería también agradecer a todos mis compañeros de promoción que me han apoyado durante estos cinco años y con los que he compartido momentos inolvidables, entre ellos a Carlos, Enrique y Pablo, a mis compañeros de camarera Antonio, Oscar y Jorge, con los que he compartido buenos momentos durante mucho tiempo y que han supuesto un apoyo fundamental en los momentos difíciles.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción.....	7
1.1 Motivación	7
1.2 Objetivo.....	7
1.3 Metodología	8
2 Estado del arte	9
2.1 Antecedentes	9
2.2 Conceptos previos	10
2.2.1 Terminología acústica.....	10
2.2.2 Tiempo de reverberación	12
2.3 Naturaleza del sonido: Generación de la onda sonora	13
2.3.1 Conceptos físicos de las ondas sonoras	15
2.3.2 Acciones del sonido al incidir sobre una superficie	15
2.3.3 Sonido directo y sonido reflejado	16
2.4 Umbrales auditivos	18
2.5 La escala de medida: El decibelio.....	18
2.5.1 Curva de ponderación. Escala de decibelios A.....	20
2.6 Espectro de frecuencias de un sonido: Bandas de octava	21
2.7 Aislamiento y acondicionamiento acústico.....	21
2.7.1 Absorción acústica.....	22
2.7.2 Ruido aéreo	24
2.7.3 Ruido de impacto	25
2.7.4 Inteligibilidad.....	25
3 Normativa.....	27
3.1 Introducción al Código Técnico de la Edificación.....	27
3.1.1 El Real Decreto 1371/2007.....	28
3.2 Normativa actual de aplicación. Exigencias reseñadas en el CTE-DB-HR.....	29
3.2.1 Documento Básico DB-HR Protección frente al ruido.....	29
3.2.2 Principales novedades generales introducidas por el Documento Básico DB-HR “Protección frente al ruido” respecto a la anterior normativa acústica NBE-CA-88.....	31

4 Evaluación condiciones acústicas del Aula de Grado del CUD.....	35
4.1 Descripción general.....	35
4.2 Características del recinto analizado.....	35
4.2.1 Proceso de ejecución del aula.....	36
4.2.2 Estado actual del Aula de Grado.....	37
4.3 Relación de la normativa y parámetros recogidos.....	41
4.4 Principales características de la instrumentación empleada.....	42
4.5 Determinación del aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos colindantes horizontalmente.....	44
4.5.1 Parámetro acústico recogido ($D_{nT,A}$).....	45
4.5.2 Instrumentación empleada.....	46
4.5.3 Metodología para la toma de muestras. UNE-EN ISO 16283-1.....	46
4.5.4 Resultados obtenidos.....	49
4.6 Determinación del aislamiento acústico a ruido aéreo de fachada del Aula de Grado.....	50
4.6.1 Parámetro acústico recogido ($D_{2m,nT,Atr}$).....	50
4.6.2 Instrumentación empleada.....	50
4.6.3 Metodología para la toma de muestras. UNE EN ISO 140-5.....	50
4.6.4 Resultados obtenidos.....	55
4.7 Determinación del aislamiento acústico a ruido de impacto de forjados entre recintos colindantes.....	56
4.7.1 Parámetro acústico recogido ($L'_{nT,w}$).....	56
4.7.2 Instrumentación empleada.....	57
4.7.3 Metodología para la toma de muestras. UNE EN ISO 140-7.....	57
4.7.4 Resultados obtenidos.....	59
4.8 Evaluación y medición del tiempo de reverberación.....	60
4.8.1 Método de cálculo general del tiempo de reverberación y de la absorción acústica.....	60
4.8.2 Evaluación “in situ” del tiempo de reverberación.....	62
4.9 Obtención y diagnóstico de los resultados de los ensayos in situ mediante el software acústico Qualifier Type 7830 de Brüel Kjaer.....	65
4.10 Resumen de resultados.....	67
5 Conclusiones y líneas futuras.....	69
5.1 Conclusiones.....	69
5.2 Líneas futuras.....	70
6 Bibliografía.....	71
Anexo I: Listado de cálculos.....	75
Anexo II: Instrumentación empleada.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Gráfica del tiempo de reverberación [6].....	12
Figura 2-2. Generación de la onda sonora.....	13
Figura 2-3. Propagación de la onda sonora [6].....	14
Figura 2-4. Efecto de los obstáculos en la propagación [26]	16
Figura 2-5. Representación gráfica del sonido directo y reflejado.....	16
Figura 2-6. Distribución del sonido [6]	17
Figura 2-7. Curvas de ponderación A, B y C [6]	20
Figura 2-8. Espectro de frecuencias [6].....	21
Figura 2-9. Esquema de aislamiento y acondicionamiento acústico.....	22
Figura 2-10. Variabilidad de la absorción en función de su espesor [27]	23
Figura 2-11. Separación material absorbente respecto a la estructura de obra	23
Figura 2-12. Techo acústico Aula de Grado.....	24
Figura 2-13. Esquema de propagación de ruido aéreo	24
Figura 2-14. Propagación del ruido de impacto [6].....	25
Figura 4-1. Distribución planta baja edificio del Centro Universitario de la Defensa.....	35
Figura 4-2. Estructura tabique interior	36
Figura 4-3. Vista del muro exterior desde el interior del edificio	36
Figura 4-4. Estructura del techo	37
Figura 4-5. Plano del aula.....	37
Figura 4-6. Fotografía general del Aula de Grado	38
Figura 4-7. Imagen del techo acústico del Aula de Grado	39
Figura 4-8. Fotografía del Aula de Grado	39
Figura 4-9. Fotografía de la fachada vista desde el interior del Aula de Grado.....	40
Figura 4-10. Huecos del Aula de Grado.....	40
Figura 4-11. Parquet y mármol rojo	41
Figura 4-12. Sonómetro modelo 2260 de Brüel & Kjaer	42
Figura 4-13. Fuente sonora omnidireccional modelo 4296 de Brüel & Kjaer	43
Figura 4-14. Máquina de impactos modelo 3207 de Brüel & Kjaer	43
Figura 4-15. Calibrador acústico modelo 4231 de Brüel & Kjaer [31].....	44

Figura 4-16. Plano del Aula de Grado y recintos colindantes.....	44
Figura 4-17. Medición del nivel de presión acústica L_2 (recinto receptor).....	47
Figura 4-18. Medición del nivel de presión acústica L_1 (recinto emisor).....	47
Figura 4-19. Posiciones de micrófono y fuente sonora.....	48
Figura 4-20. Gráfica aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos colindantes.....	49
Figura 4-21. Fuente sonora frente a la fachada.....	51
Figura 4-22. Posiciones de micrófono medición L_2	52
Figura 4-23. Medición del nivel de presión acústica L_2 (interior Aula de Grado).....	52
Figura 4-24. Posiciones de micrófono medición $L_{1,2m}$	53
Figura 4-25. Medición del nivel de presión acústica $L_{1,2m}$ (frente a la fachada).....	54
Figura 4-26. Gráfica aislamiento acústico a ruido aéreo de la fachada del Aula.....	55
Figura 4-27. Plano del Aula y recintos colindantes.....	56
Figura 4-28. Curva de referencia para ruido de impactos, en banda de tercio de octava [35].....	56
Figura 4-29. Máquina de impactos en el despacho colindante (recinto emisor).....	57
Figura 4-30. Medición del nivel de ruido de impactos en el local receptor (L_2).....	58
Figura 4-31. Posiciones de micrófono medición $L'_{nT,w}$	58
Figura 4-32. Gráfica aislamiento acústico a ruido de impactos.....	59
Figura 4-33. Configuración del sonómetro a 20 dB.....	62
Figura 4-34. Sonómetro y fuente sonora impulsiva.....	63
Figura 4-35. Posiciones micrófono-fuente.....	64
Figura 4-36. Gráfica del tiempo de reverberación.....	64
Figura 4-37. Esquema de las fuentes de sonido [30].....	65
Figura 4-38. Configuración del equipo de medida para conexión al ordenador.....	65
Figura 4-39. Vista general del software Qualifier.....	66
Figura 4-40. Comprobación de las propiedades de trabajo.....	66
Figura 4-41. Gráfica aislamiento acústico a ruido aéreo de la fachada del Aula.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Niveles de intensidad sonora [19].....	18
Tabla 3-1. Tipos de recintos según el DB-HR Protección frente al ruido [22].....	30
Tabla 3-2. Exigencias establecidas por el DB-HR del CTE [22].....	31
Tabla 3-3. Principales novedades introducidas por el DB-HR Protección frente al ruido [22].....	32
Tabla 4-1. Áreas de los acabados del recinto	38
Tabla 4-2. Normativa y parámetro recogido para el tiempo de reverberación [26].....	41
Tabla 4-3. Normativa y parámetros recogidos para el aislamiento acústico a ruido aéreo [27] [28]	41
Tabla 4-4. Normativa y parámetro recogido para el aislamiento acústico a ruido de impacto [29]	42
Tabla 4-5. Número mínimo de posiciones y mediciones [25].....	63
Tabla 4-6. Resumen de los resultados	67

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Las condiciones acústicas de un aula y, en general de cualquier recinto donde se desarrollen actividades educativas, resultan fundamentales; pues es primordial para el aprendizaje que los alumnos logren mantener la atención y concentración. Para ello, son necesarios bajos niveles de ruido y una buena inteligibilidad que favorezcan el estudio y la transmisión del mensaje. Además, en un centro educativo castrense, como la Escuela Naval, existe la necesidad de compatibilizar espacios de distinta naturaleza que son utilizados de forma simultánea.

1.2 Objetivo

El presente trabajo tiene por objeto evaluar mediante ensayos “in situ” las condiciones acústicas del Aula de Grado del Centro Universitario de la Defensa, en relación con su aislamiento y acondicionamiento.

En este sentido, los valores de los parámetros acústicos obtenidos se compararán aquellos exigidos por la normativa que regula las condiciones acústicas en edificación, el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico DB-HR “Protección frente al ruido”. Así, se podrá determinar la calidad acústica del Aula. Resulta importante matizar que el Aula de Grado, dada la fecha de ejecución del edificio, y debido también al alcance de las obras de reforma, no está obligada a cumplir la normativa actual, la cual exceptúa *las obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación en los edificios existentes, salvo cuando se trate de una reforma integral.* [1]. Sin embargo, resulta de interés conocer donde se encuadran este tipo de recintos docentes en la normativa de aplicación actual, así como evaluar los valores que adoptan en el Aula los distintos parámetros dicha normativa establece para determinar la calidad acústica.

1.3 Metodología

Con el fin de llevar a cabo el presente trabajo, se han programado los siguientes hitos:

En primer lugar, se realizará una revisión del estado del arte relativo al acondicionamiento y aislamiento acústico, estudiando conceptos básicos de acústica necesarios para la comprensión de los ensayos “in situ” que se realizarán. Este punto se recoge en el Capítulo 2 de la presente memoria.

A continuación se realizará un estudio de la actual normativa del Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico de “Protección frente al ruido”, realizando un análisis en profundidad de los distintos métodos existentes para obtener los parámetros de calidad acústicos. Esto se refleja en el Capítulo 3 de la presente memoria.

El siguiente paso será realizar un estudio de las características del recinto a analizar. A continuación se concretarán los aspectos normativos aplicables a recintos de nueva construcción del mismo uso y características que el recinto objeto de estudio. Una vez realizado esto, se desarrollarán los ensayos relativos a la evaluación acústica, analizando posteriormente los resultados obtenidos. Toda la información relativa a estos aspectos se recoge en el Capítulo 4 de la presente memoria.

Una vez estudiados los resultados, se obtendrán una serie de conclusiones relativas al grado del cumplimiento del recinto respecto a la normativa actual, así como una reflexión de posibles líneas futuras de aplicación a la Escuela Naval Militar. Todo ello se recoge en el Capítulo 6 de la presente memoria.

Se han incluido en el Capítulo 7 de la presente memoria todas las referencias utilizadas para completar la información necesaria en el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado, así como dos Anexos que incluyen los resultados obtenidos a través del software acústico Qualifier Type 7830 y las características de la instrumentación utilizada para el desarrollo de los ensayos “in situ”.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Antecedentes

Desde nuestros orígenes, el hombre ha utilizado las señales acústicas para comunicarse entre sí, se trata por tanto una característica intrínseca en nuestra naturaleza. Sin embargo, no es hasta el periodo comprendido entre los siglos V a.C. y I d.C. cuando tiene su origen la ciencia acústica, en la Antigua Grecia y Roma. Pitágoras fue el precursor del estudio de la acústica desde este punto de vista científico. Más adelante, Aristóteles logró expresar la naturaleza del movimiento de las ondas [2].

Con la cultura helena aparece el anfiteatro griego entendido como un espacio destinado a la audición. Los actores se situaban en la zona central, mientras que los espectadores eran colocados en pendientes y a la vez sus localidades se orientaban a dichos actores. El diseño de los anfiteatros tenía como principal objetivo albergar a una gran audiencia lo más cerca posible del escenario, de esta manera perseguían una distribución óptima del sonido directo [3].

Con el imperio romano llegó una renovación del anfiteatro, tanto la disposición de sus gradas (gran pendiente) como su estructura arquitectónica proporcionaban un aumento del sonido reflejado. Dicho sonido llegaba al espectador después del sonido directo, con ello reforzaban la inteligibilidad de los mensajes. Gracias al estudio de las reglas acústicas lograban producir una sensación espacial inédita para aquella época, ninguna parte del diseño arquitectónico era mera improvisación. A través de un tratado sobre las propiedades acústicas ya en esta época se introdujeron conceptos como la reverberación, la interferencia o los ecos [4].

Con el paso del tiempo y gracias a los avances de diversos científicos, entre los que cabe destacar los estudios de Galileo y Newton (Principia, año 1687), se llega al concepto del teatro del Renacimiento, introduciendo el cambio del teatro al aire libre al teatro en un recinto cerrado. Sin embargo, la disposición del escenario y espectadores seguía siendo muy similar al teatro Romano, que generaba un sonido muy difuso, es decir, eran recintos muy reverberantes en ausencia de público, mientras que al encontrarse con una alta ocupación este tiempo se veía muy reducido [2].

Paralelamente al desarrollo de la acústica va evolucionando la disposición del teatro hasta llegar a nuevas distribuciones en planta, poco a poco van desapareciendo las formas semicirculares. También evoluciona el escenario, dando lugar a la aparición de zonas diferenciadas en el mismo.

Con el nacimiento de la ópera surge una nueva problemática, ya que incorpora una gran cantidad y variedad de instrumentos musicales y su situación en el escenario de cara a optimizar el espacio no resulta sencilla. Finalmente se decidió situar a la orquesta a un nivel diferente al resto del recinto, generando un problema de coordinación entre la propia orquesta y el músico, derivando en el teatro Lírico. Precisamente en estos teatros surgieron los palcos que se situaban en las paredes laterales, logrando de esta manera una mayor absorción y por tanto una disminución del tiempo de reverberación.

En el siglo XIX el desarrollo de la acústica fue protagonizado principalmente por Helmholtz en Alemania, y Lord Rayleigh en Inglaterra. Este último publicó una gran obra, “La teoría del sonido”. A mediados de este siglo nace también el concepto de Sala de Conferencias, su diseño aspiraba a conseguir que el rayo auditivo generado por la fuente (el orador en este caso), llegará de forma directa a todo el público. La persecución de este objetivo dio lugar a salas con formas principalmente circulares y una gran pendiente, llevando a recintos con un gran volumen.

El gran hito de la acústica de salas no llegó hasta entrado el siglo XX, cuando aparecieron diversas aplicaciones tecnológicas, entre las que cabe destacar el trabajo de Sabine en acústica arquitectónica. A lo largo de sus trabajos explica el comportamiento de la energía acústica en un recinto cerrado así como el concepto de reverberación. Finalmente sus estudios se resumieron en un único término: la reverberación. Por tanto, los estudios de la época se centraron principalmente en el conocimiento de las propiedades de materiales absorbentes para calcular el tiempo de reverberación. Entre los acústicos intentaron establecer un valor numérico apropiado para los recintos en función de su volumen y utilidad, por otro lado, los arquitectos empiezan a experimentar con nuevos materiales y formas dejando de lado el interés en conseguir una reverberación óptima.

A mediados del siglo XX van surgiendo nuevos criterios de evaluación en la acústica de salas favorecidos principalmente por el crecimiento de las mismas, el desarrollo de nuevos materiales y el diseño de nuevas formas arquitectónicas.

2.2 Conceptos previos

A continuación se van a definir una serie de conceptos clave relacionados con la acústica, siendo su comprensión fundamental para el entendimiento de la presente memoria y de los ensayos realizados. Las fuentes principales de las que se ha obtenido la información son [5] y [6].

2.2.1 Terminología acústica

- **Sonido:** Es una alteración física de un medio (gaseoso, líquido y sólido) que produce variaciones de presión recogidas por el oído humano en forma de vibraciones en el tímpano.
- **Sonido audible:** Toda vibración acústica capaz de producir una sensación auditiva. El campo auditivo del ser humano se sitúa aproximadamente en las frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 KHz.
- **Ruido:** Implica el mismo fenómeno físico que constituye un sonido, aunque suele definirse de una manera más subjetiva. Por lo tanto, un mismo sonido puede ser considerado como molesto o agradable. Según la Sociedad Española de Acústica se define como; “una vibración errática o estadísticamente aleatoria”.
- **Contaminación acústica:** El exceso de ruido provoca en una determinada zona alteraciones en las condiciones normales del medio ambiente. Es un problema que afecta a

toda la sociedad en general y puede llegar a tener efectos negativos en la salud de las personas.

- **Velocidad del sonido:** Las perturbaciones sonoras se transmiten a través de un medio. En la atmósfera terrestre esta velocidad es de aproximadamente 343 m/s, (a 20°C de temperatura, con 50% de humedad y a nivel del mar).
- **Intensidad acústica:** Cantidad de energía por unidad de superficie perpendicular a la dirección de transmisión de la partícula.
- **Potencia acústica:** Cantidad de energía sonora radiada por una fuente sonora. Es intrínseca de la fuente y su valor no depende del punto donde se mida ni de las condiciones del recinto. Se mide en vatios (W).
- **Presión acústica:** Incremento de presión respecto a la presión atmosférica debido a la presencia de la onda acústica. Es dependiente de la distancia a la fuente y de las condiciones del recinto donde se encuentre. Se expresa en pascales (Pa) o N/m^2 .
- **Timbre:** Atributo de la sensación auditiva que permite a un oyente juzgar que dos sonidos de igual sonoridad y tono son diferentes [7].
- **Ruido blanco:** Utilizado para realizar ensayos normalizados de aislamiento. Se denomina ruido blanco a aquel que presenta la misma energía en todas las frecuencias.
- **Ruido rosa:** Ruido cuyo espectro expresado como niveles de presión o potencia, en bandas de tercio de octava, consiste en una recta de pendiente de 0 dB/octava. Se utiliza para efectuar medidas normalizadas.
- **Fuente de ruido:** Dispositivo, máquina, componente o subcomponente de todo tipo y tamaño que emite ruido (estable, no estable, casi estable, impulsivo, etc.) [8].
- **Micrófono:** Transductor electro acústico que permite obtener señales eléctricas a partir de señales acústicas en un medio gaseoso [9].
- **Sonómetro:** Instrumento para la medida del nivel de presión acústica compuesto de un micrófono, de una red de ponderación en frecuencia normalizada, de una red de ponderación temporal exponencial normalizada, de un amplificador y de un indicador [10].
- **Amplificador:** Circuito componente de una fuente acústica o de un sonómetro que incrementa el valor de la señal acústica de entrada o salida sin modificar su forma [11].
- **Calibrador acústico:** Dispositivo que genera una o varias señales acústicas sinusoidales de nivel y frecuencia especificados de micrófonos o captadores de vibraciones en configuraciones especificadas [12].
- **Foco sonoro impulsivo:** Ruido consistente en una serie de impulsos de energía acústica, teniendo cada impulso una duración menor de 1 s.

- **Ruido de fondo:** Ruido procedente de toda fuente que no sea la fuente de interés [8].
- **Ruido de impacto:** Aquel ruido generado por un golpe que se transmite a lo largo de una estructura.
- **Ruido aéreo:** Ruido que se genera o propaga en el aire [13].
- **Forjado:** Son estructuras planas y horizontales que cumplen con funciones estructurales (debe resistir su propio peso) y de habitabilidad (representa el apoyo para el pavimento, sirviendo de aislante térmico y acústico) [14].
- **Lana de roca:** Pertenece a la familia de las lanas minerales. Debido a su estructura fibrosa y elástica, se utiliza como aislamiento térmico y acústico; frena el movimiento de las partículas de aire y disipa la energía sonora [15].
- **Trasdosado:** Placas delgadas fijadas a muros rígidos y gruesos para mejorar el aislamiento térmico y acústico.

2.2.2 Tiempo de reverberación

Para lograr entender conceptualmente el tiempo de reverberación y llegar a comprender su gran importancia dentro de la acústica, es necesario definir en primer lugar en que consiste el fenómeno de la reverberación [6].

Se define la reverberación como un efecto natural que se produce en un espacio cerrado cuando un sonido rebota en sus paredes, techo y suelo hasta formar un conjunto de ecos, los cuales se perciben como un solo sonido parecido al original. Este conglomerado de ecos distorsiona el sonido emitido por la fuente sonora, expandiéndolo en el espacio y tiempo.

Es justamente esta expansión del tiempo y espacio la que da lugar al término *tiempo de reverberación*; tiempo que tarda un sonido en “dejar de ser perceptible” para el oyente. Es decir, si se tiene un aula con un tiempo de reverberación alto, la energía acústica reflejada tardará mucho en extinguirse, por lo tanto, una vez que la fuente sonora cese, se puede oír cómo se va atenuando durante un tiempo el sonido.

En este sentido, se define tiempo de reverberación (T_r) a una frecuencia determinada como el tiempo, en segundos, necesarios para que el nivel de presión sonora disminuya 60 dB después del cese de la emisión de la fuente sonora [16], véase la Figura 2-1.

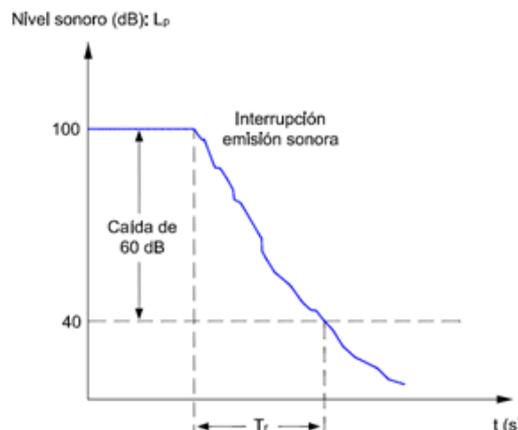


Figura 2-1. Gráfica del tiempo de reverberación [6]

Esto genera una mala inteligibilidad y, por tanto, un deficiente confort acústico. Es importante recordar que es justamente este confort acústico el que permite realizar distintas actividades sin que exista un riesgo de molestia. De hecho en el caso de recintos destinados a la docencia, es fundamental para un correcto aprendizaje.

Por tanto, se trata de un valor físico utilizado para evaluar la calidad acústica de los recintos de todo tipo y de esta forma comparar y prever su comportamiento. En este contexto, con el empleo de materiales absorbentes se consigue reducir la energía acústica reflejada dentro de un recinto, lo que permite adecuar el tiempo de reverberación en función del uso del recinto.

2.3 Naturaleza del sonido: Generación de la onda sonora

La generación del sonido tiene lugar cuando una fuente sonora entra en vibración. Esta vibración de un cuerpo produce una interacción con la capa de partículas adyacente, perturbando, comprimiendo y dilatando su atmósfera circundante. Estas partículas que comienzan a oscilar en torno a su posición de equilibrio, a su vez, interaccionan con las partículas próximas, que también sufren estas mismas contracciones y dilataciones sucesivas que se las transmiten a las capas colindantes, y así de forma continuada. En la Figura 2-2 se muestra un ejemplo ilustrativo de la generación de la onda sonora [6].

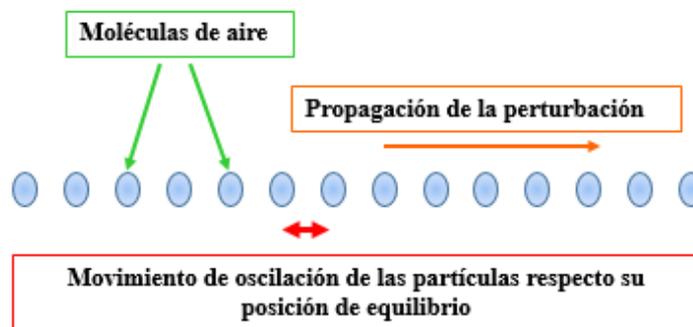


Figura 2-2. Generación de la onda sonora

De lo anterior se deduce que el agrupamiento de un gran número de moléculas, genera un incremento de presión local respecto a la presión atmosférica. Este incremento se desplaza induciendo decrementos de presión respecto a la presión atmosférica. Para entender esto mejor, es útil apoyarse en un ejemplo real; un tambor como fuente sonora. Cuando se golpea la membrana del tambor se provoca una oscilación en la misma. Cuando esta se desplaza hacia fuera, las partículas de aire próximas a su superficie se acumulan creándose una zona de compresión, mientras que en el caso contrario, dichas partículas se separan, dando lugar a una zona de dilatación [17].

Este proceso de propagación de una perturbación en forma de variaciones de presión respecto a la presión atmosférica, tanto en el espacio como en el tiempo, da lugar a una onda mecánica que, en el caso de ser audible, se conoce como onda sonora. Esta onda mecánica tiene la misma dirección de propagación que la oscilación de las partículas, por tanto, se trata de ondas longitudinales, en contraposición a las ondas electromagnéticas que son transversales. Se debe destacar que sólo se propaga la perturbación, pues las moléculas únicamente vibran alrededor de sus posiciones de equilibrio, posiciones a las que regresan una vez cesa la perturbación. Por tanto, existe una propagación de energía pero no de materia [6].

Las zonas de tracción y compresión anteriormente mencionadas, viajan a una velocidad determinada conocida como velocidad del frente de onda, mientras que el punto de agitación original se denomina foco de ondas.

La Figura 2-3 muestra la evolución de la presión P_T ; donde P_T es la presión total instantánea en el punto de observación, en función del tiempo en un punto que se encuentra a una distancia cualquiera de la fuente sonora. Dicha presión es la suma de la presión atmosférica estática (P_{at}) y la presión asociada a la onda sonora (P).

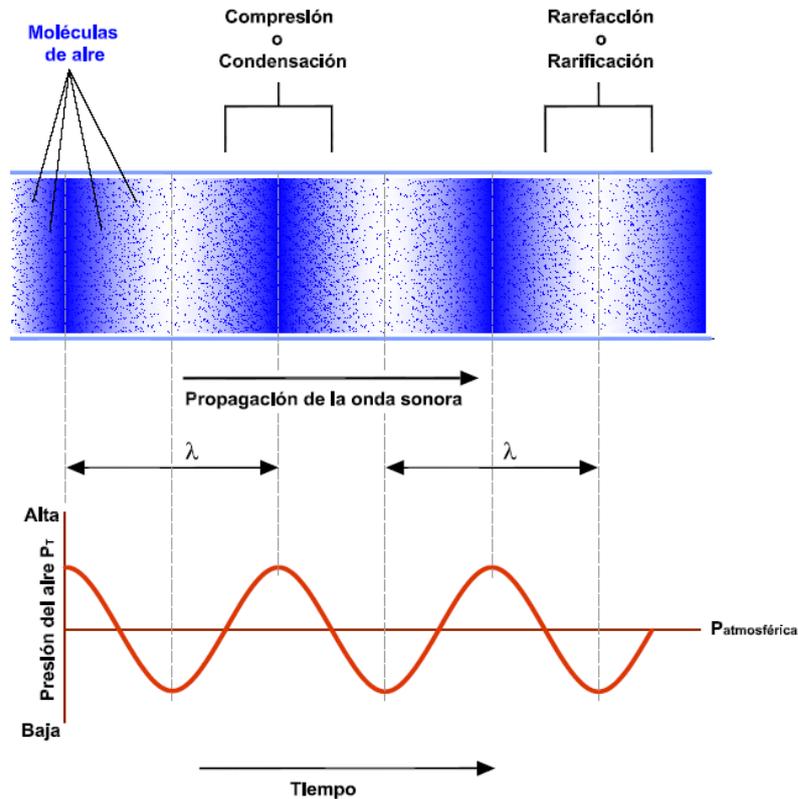


Figura 2-3. Propagación de la onda sonora [6]

En la figura anteriormente expuesta, se observan incrementos y disminuciones periódicas de la presión sonora alrededor de su valor de equilibrio, correspondiente a la presión atmosférica (P_{at}) y, por tanto, la aparición de una presión incremental (P), denominada presión acústica. De este modo, la presión acústica se puede definir como la diferencia existente entre la presión total instantánea en presencia de la onda acústica (P_T) y la presión estática en ese punto (P_{at}) en ausencia de la onda.

El valor máximo de la oscilación respecto a P_{at} recibe el nombre de amplitud de la presión asociada a la onda sonora. La distancia entre las compresiones o rarefacciones sucesivas se denomina longitud de onda (λ), concepto que se ampliará más adelante.

Las ondas sonoras producen sensaciones en el sentido del oído humano cuando la amplitud de la presión acústica supera unos valores umbrales y el rango de frecuencia está aproximadamente comprendido entre 20 Hz y 20 KHz. El oído capta estas fluctuaciones de presión y las transforma en estímulos nerviosos que son interpretados por el cerebro, produciéndose de esta forma la sensación del sonido. Por tanto, se puede concluir que el sonido es una sensación subjetiva propiciada por la estimulación del ser humano.

2.3.1 Conceptos físicos de las ondas sonoras

En el estudio del sonido se deben distinguir dos aspectos fundamentales del mismo: los aspectos físicos (que caracterizan el movimiento ondulatorio) y los aspectos fisiológicos (relacionados con la sensación sonora que genera) [17].

Para definir el fenómeno físico que caracteriza a las ondas, sólo son necesarios dos conceptos:

- La amplitud de la oscilación (A): Separación máxima respecto a la posición de equilibrio.
- La frecuencia (f): Número de oscilaciones por segundo o, también, el número de veces que la partícula pasa por una misma posición en el mismo sentido en una unidad de tiempo. La frecuencia se mide en hertzios (Hz) o ciclos por segundo (c/s). $1 \text{ Hertz} = 1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo/s} = 1 \cdot \text{s}^{-1}$.

La frecuencia genera la sensación subjetiva del tono. Los sonidos agudos se relacionan con frecuencias altas, mientras que los graves con frecuencias bajas.

Cuando la amplitud y la frecuencia del ya mencionado movimiento de vibración son constantes a lo largo del tiempo, éste se puede expresar matemáticamente mediante la función seno o coseno, cuya representación en unos ejes coordenados posee forma de onda periódica, denominado movimiento armónico simple.

El periodo (T), es el parámetro que determina la duración de un ciclo de la vibración, se mide en segundos. Este nuevo concepto se puede definir como el inverso de la frecuencia ($T = 1/f$).

La onda sonora más sencilla de representar de un sonido es aquella que tiene una única frecuencia, denominada tono puro. Este tipo de ondas suelen generarse en laboratorios, siendo algo excepcional el uso de las mismas fuera de este. La mayoría de los sonidos, y por extensión los ruidos, son producidos por movimientos vibratorios complejos; es decir, por la composición de un número indefinido de distintos movimientos vibratorios simples. Los sonidos reales, procedentes de vibraciones complejas, poseen una frecuencia fundamental, la cual determina su tono, y van acompañadas de un cierto número de armónicos que dan lugar a su timbre en función de su proporción e intensidad [6].

La longitud de onda (λ), puede definirse como la distancia entre dos partículas consecutivas de aire que estén en el mismo estado de vibración, es decir, distancia necesaria para que una onda realice un ciclo completo.

Los sonidos agudos, o altas frecuencias, poseen longitudes de onda pequeñas. Por el contrario, los sonidos graves, o bajas frecuencias, las longitudes de onda son grandes.

2.3.2 Acciones del sonido al incidir sobre una superficie

Cuando no existan obstáculos entre la fuente y el receptor, el sonido emitido se propagará en un campo libre por el aire, por tanto, la única atenuación será la debida a la distancia entre ambos y a la absorción del aire. Sin embargo, esta situación es algo extraordinario, y normalmente la existencia de obstáculos modificará la propagación del sonido [18].

Por tanto, cuando una onda acústica incide sobre una superficie, la energía que posee da lugar a tres componentes principales (véase Figura 2-4):

- Reflexión: El sonido incidente sobre una superficie varía su dirección al incidir sobre esta.

- **Absorción:** Cuando una onda sonora incide sobre una superficie, una pequeña parte de la energía se disipa y es absorbida por dicha superficie. La absorción de la superficie varía principalmente en función de la porosidad y la rugosidad.
- **Transmisión:** Parte de la energía del sonido incidente atraviesa la superficie. En función del aislamiento de la superficie (por ejemplo, una pared) llegará una cantidad u otra de sonido.

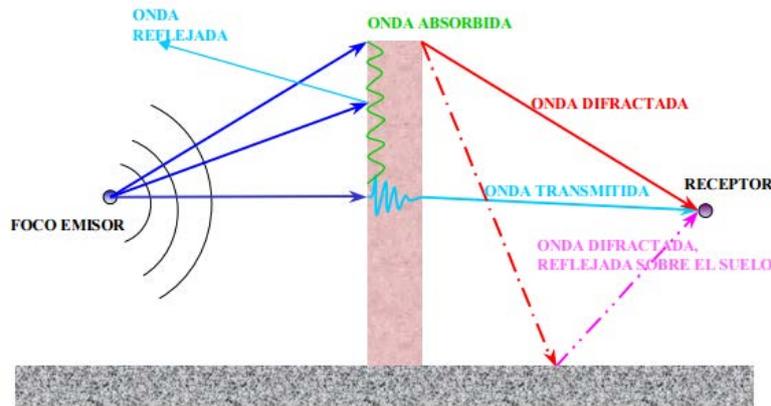


Figura 2-4. Efecto de los obstáculos en la propagación [26]

2.3.3 Sonido directo y sonido reflejado

Un receptor situado dentro de un recinto cerrado recibe la energía radiada por una fuente sonora de dos formas distintas: parte de la energía llega de forma directa (sonido directo), es decir, es aquel sonido que se propaga directamente hasta el oyente y en el no interviene ninguna reflexión, y otra parte de la energía llega de forma indirecta (sonido reflejado), es el que percibe un oyente como resultado de las distintas reflexiones que sufre la onda sonora al incidir sobre las superficies del recinto [18]. Véase la Figura 2-5.

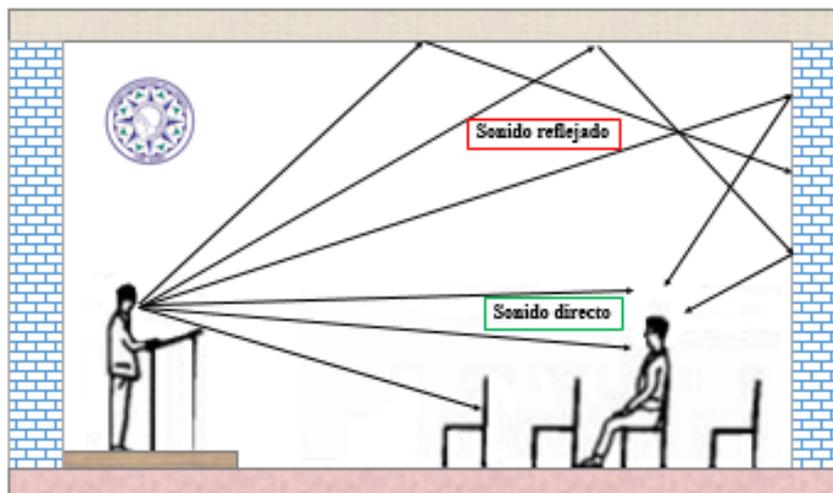


Figura 2-5. Representación gráfica del sonido directo y reflejado

En un punto cualquiera del recinto, la energía correspondiente al sonido directo dependerá únicamente de la distancia a la fuente sonora, sin embargo la energía asociada a cada reflexión dependerá del camino recorrido por el rayo sonoro así como de la absorción acústica de los materiales utilizados en la construcción de las superficies influyentes [19].

Profundizando en el análisis temporal del sonido reflejado, se observa principalmente la existencia de dos zonas con distintas características; una primera zona que engloba a todas las reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo, denominadas primeras reflexiones, y una segunda zona compuesta por las reflexiones que llegan posteriormente, conocidas como cola reverberante.

En un recinto cerrado, se cumple que el sonido total que recibe un oyente es la suma del sonido que procede directamente de la fuente sonora y de aquel procedente de las reflexiones en los distintos cerramientos, siempre y cuando todos los sonidos sean recibidos dentro de un intervalo de 50 milisegundos respecto al sonido directo. Esto se debe a la capacidad del oído humano de integrar en una sola percepción los sonidos anteriormente descritos. Por ello, la percepción de todas las reflexiones que lleguen al receptor dentro de este tiempo, ayudarán a reforzar el sonido directo, produciendo un incremento en el nivel sonoro.

Aquella zona en la que predomina el sonido directo se conoce como zona de campo directo, en dicha zona el nivel de presión sonora, denominado nivel de campo directo (L_D), disminuye con la distancia a la fuente sonora. Por otro lado, la zona donde mayoritariamente se recibe sonido reflejado recibe el nombre de zona de campo reverberante, en esta zona el nivel de presión sonora, conocido como nivel de campo reverberante (L_R), se mantiene constante. Esto se debe a que la trayectoria de este sonido sufre multitud de reflexiones las cuales se superponen entre sí logrando una distribución casi uniforme del sonido.

Existe una distancia, llamada distancia crítica, que limita las zonas en las que predomina uno u otro campo; para distancias menores a la distancia crítica predomina el campo directo y para distancias superiores el campo reverberante.

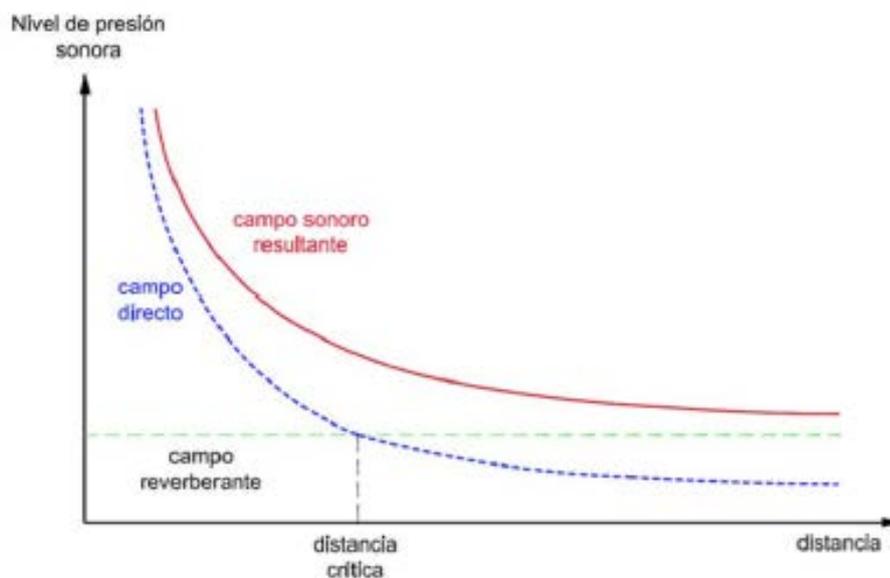


Figura 2-6. Distribución del sonido [6]

De la Figura 2-6 se deduce que si el campo reverberante disminuye debido a un aumento de la absorción en el recinto el campo sonoro total también se reduce.

En aquellos puntos del campo directo se puede percibir en gran medida el origen del sonido, llamado campo direccional, mientras que en posiciones pertenecientes al campo reverberante no se puede afirmar lo mismo, reciben el nombre de campo difuso o adireccional.

2.4 Umbrales auditivos

El área de sensibilidad auditiva de las personas varía sobre un amplio rango de niveles de presión sonora. Los límites en frecuencia no están bien definidos, aproximadamente se encuentran entre 20 y 20.000 Hz. Este dilatado rango se encuentra limitado en sus extremos mediante los umbrales auditivos que son los siguientes [20]:

- **Umbral de audición:** es el nivel de presión acústica o nivel de fuerza vibratoria por debajo del cual el oído humano no detecta ningún sonido. Es decir, es la intensidad mínima de sonido que el oído humano es capaz de percibir. Este umbral varía en función de la frecuencia del sonido, teniendo nuestro sistema auditivo una mayor sensibilidad entre los 500 y los 3.000 Hertzios. Cabe destacar que este umbral no tiene un límite preciso, sino que se define en condiciones especificadas para una probabilidad del 50% de que el sonido sea percibido. El umbral de audición humana está estipulado en 0 dB.
- **Umbral del dolor:** para un oyente determinado es el nivel mínimo de presión acústica de una señal especificada que le produce una sensación de dolor. Dicho umbral es considerado a partir de los 140 dB.

La Tabla 2-1 muestra los distintos niveles de intensidad sonora con ejemplos cercanos a nuestra vida cotidiana.

Nivel de intensidad sonora	
140 dB	Umbral del dolor
130 dB	Avión despegando
120 dB	Motor de avión en marcha
110 dB	Concierto
100 dB	Perforadora eléctrica
90 dB	Tráfico
80 dB	Tren
70 dB	Aspiradora
50/60 dB	Aglomeración de gente
40 dB	Conversación
20 dB	Biblioteca
10 dB	Ruido del campo
0 dB	Umbral de audición

Tabla 2-1. Niveles de intensidad sonora [19]

2.5 La escala de medida: El decibelio

Para la creación de una escala encaminada a la medida de niveles sonoros, se tuvo que tener en cuenta dos antecedentes fundamentales [6]:

- El oído humano posee una gran sensibilidad:
 - Responde a sensaciones sonoras que se encuentran en un amplio margen.
 - Es capaz de detectar variaciones de presión de muy pequeña amplitud.

Teniendo en consideración estas premisas, era necesario definir una escala “comprimida”, variable en un menor margen y que fuese manejable.

- Desde un punto de vista subjetivo, el oído posee una respuesta de carácter logarítmico y no lineal. Teniendo en cuenta el comportamiento del oído humano, para que este detecte de forma subjetiva un cambio en el medio de dos veces más ruido, es necesario la colocación de 10 fuentes sonoras iguales.

Para cumplir tales premisas se emplea una escala de medida relativa, es decir, se compara una cantidad determinada con otra que se establece como referencia. Las magnitudes que se miden son la intensidad y presión sonora, cuantificando sus niveles en decibelios (dB), nombre que recibe en honor a Graham Bell. Dicha escala consigue representar el espectro auditivo del oído humano mediante una expresión matemática basada en el logaritmo decimal, relacionando la magnitud que se pretende cuantificar con una referencia correspondiente al límite de la sensibilidad humana. Teniendo en consideración lo anterior, podemos concluir que es una unidad logarítmica y es la décima parte del belio, el cual es realmente la unidad, pero este no se utiliza por ser demasiado grande en la práctica. Su expresión matemática es la siguiente:

$$L \text{ (dB)} = 10 \lg \frac{M}{M_0}; \text{ donde}$$

L = Nivel de la magnitud cuantificada, en Db

M = Magnitud a estudiar (unidades naturales)

M₀ = Valor de referencia de la magnitud (unidades naturales)

Se trata de una unidad de medida adimensional. Debido a la naturaleza de esta expresión matemática (carácter logarítmico de la escala), para lograr un aumento del doble de la energía acústica, debemos aumentar en 3 dB un sonido. Por ejemplo, dos focos sonoros que generan cada uno de ellos 60 dB de nivel de presión sonora, si se combinan, sumaran una presión acústica total de 63 dB.

La propagación de una onda sonora a través del aire genera una variación de la presión en el mismo. Los instrumentos capaces de asignar un valor a esta variación de presión en un punto como resultado de dicha propagación se denominan sonómetros. Establecen como referencia la presión acústica "umbral" (mínima variación de presión respecto a la presión atmosférica que es capaz de detectar el oído humano a 1000 Hertz: P₀ = 2·10⁻⁵ N/m²). Puede definirse el nivel de presión acústica, L_p, mediante la siguiente expresión:

$$L_p \text{ (dB)} = 20 \lg \frac{P}{P_0}; \text{ donde}$$

L_p = Nivel de presión acústica, expresado en dB

P = Presión acústica que se desea cuantificar

P₀ = Presión de referencia, que corresponde al límite de sensibilidad humana a 1000 Hz (2·10⁻⁵ N/m²)

De esta forma se tiene como resultado una escala en la cual el nivel de presión sonora de los sonidos audibles se encuentran en un rango manejable, entre 0 dB a 120 dB.

2.5.1 Curva de ponderación. Escala de decibelios A

Como se ha mencionado anteriormente, el oído humano posee la capacidad de convertir en sensaciones sonoras aquellas variaciones de presión que oscilen con una frecuencia comprendida entre los 20 y 20000 Hz, sin embargo, para un mismo nivel de presión sonora no se perciben de igual manera todas las frecuencias, siendo máxima su sensibilidad para las frecuencias medias (desde 1000 Hz a 5000 Hz) y mucho menor en los extremos [19].

Por tanto, para que el oído humano sea capaz de percibir de forma subjetiva la misma sensación sonora en cuanto a intensidad se refiere, los sonidos de más alta y baja frecuencia (los extremos) han de poseer mayor nivel de presión sonora real que los sonidos de frecuencias intermedias.

Teniendo en cuentas los condicionantes anteriormente indicados, las medidas acústicas se corrigen en función de la frecuencia, consiguiendo así que los valores de los parámetros acústicos obtenidos se adecuen al comportamiento del oído humano.

Todo aparato de medida utiliza un filtro de ponderación A. Este filtro tiene por objeto filtrar las bajas y altas frecuencias, por tanto, no modifica las frecuencias intermedias, excepto aquellas comprendidas entre los 2000 Hz y 4000 Hz que las aumenta levemente.

Con el uso de esta ponderación se consigue caracterizar la reacción humana a los ruidos complejos y se limita la sensación de molestia que estos originan. Los decibelios se denominan como decibelios A (dBA).

Además de la ponderación A, existen otras ponderaciones B y C cuyo uso es más ocasional. En la Figura 2-7 se aprecian las distintas curvas de ponderación.

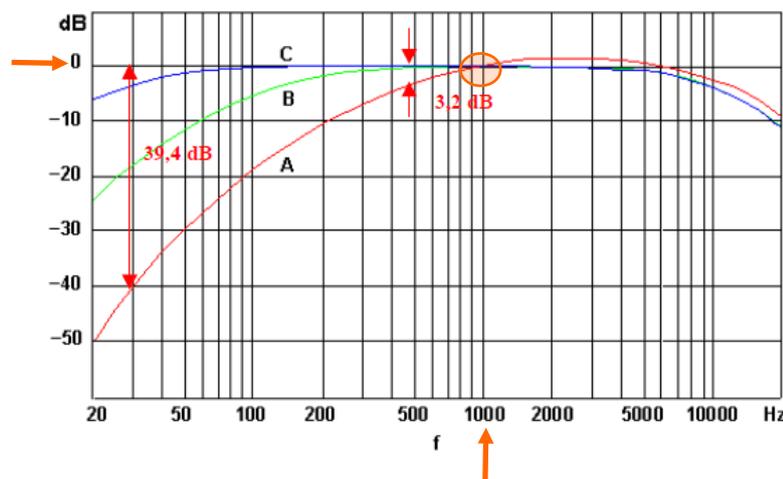


Figura 2-7. Curvas de ponderación A, B y C [6]

Destacar de la figura anterior que las tres curvas coinciden en 0 dB a 1000 Hz. Para cada frecuencia, el valor de la ordenada representa la corrección a aplicar al nivel de presión sonora de ésta de cara a obtener el valor del nivel sonoro con la escala empleada.

A modo de ejemplo, para una frecuencia de 31,5 Hz el nivel sonoro obtenido en decibelios no ponderados, debe corregirse restando 39,4 dB al valor obtenido para conocer el resultado en dBA.

2.6 Espectro de frecuencias de un sonido: Bandas de octava

Las fuentes de ruido generalmente suelen ser muy diversas, y estas a su vez, no se pueden considerar como emisoras de una única frecuencia, sino que son generadoras de sonidos compuestos formados por una combinación de ondas sonoras de distintas frecuencias, intensidades e inclusive amplitudes, que además son variables en el tiempo [21].

Cuando se procede al estudio detallado de los ruidos resulta fundamental conocer la contribución relativa de cada componente de frecuencia al nivel de ruido total. Por tanto, el espectro de un sonido consiste en la descomposición en las distintas frecuencias que lo componen y en el cálculo del nivel de presión sonora de cada una de ellas.

Una vez conocida la metodología de estudio de los ruidos, procedemos al análisis del mismo, para ello y debido al extenso rango de frecuencias audibles, es necesario agrupar estas en una serie de bandas que conforman la distribución espectral de un ruido y cuyos anchos se encuentran normalizados. Dichos anchos se aplican en función del nivel de precisión requerido para el análisis acústico.

Por defecto el ancho más utilizado es el de una octava y 1/3 de octava. Los aparatos de medida poseen unos filtros electrónicos que únicamente permiten el paso de aquellas frecuencias pertenecientes a las bandas previamente seleccionadas y no admiten el resto. En los anchos de una octava, las frecuencias más altas duplican a las más bajas, sin embargo, en las de 1/3 de octava, la octava se divide en tres partes iguales. A la frecuencia central de cada banda se le asigna el nivel resultante de componer todas las frecuencias contenidas entre los límites superior e inferior de cada intervalo.

Las frecuencias centrales de las diversas bandas de octava son: 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 8000 y 16000 Hz. El resultado se muestra mediante gráficos como el de la Figura 2-8, en el eje de abscisas las frecuencias (Hz) y en el eje de ordenadas los niveles (dB o dBA) [6].

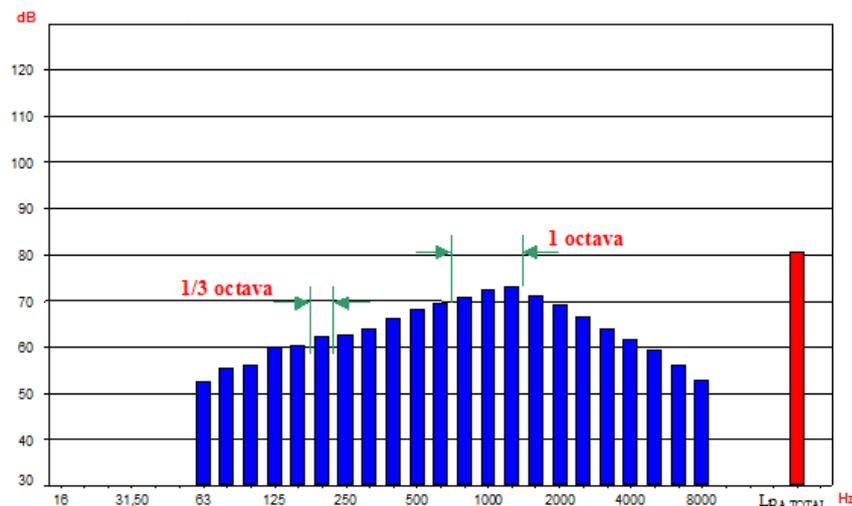


Figura 2-8. Espectro de frecuencias [6]

2.7 Aislamiento y acondicionamiento acústico

La temática de acústica en edificación debe iniciarse definiendo dos conceptos básicos: el aislamiento y el acondicionamiento acústico. Aunque a priori los objetivos de uno y otro parezcan similares, son conceptos distintos que implican objetivos diferentes [6].

Se entiende por aislamiento acústico al conjunto de procedimientos encaminados a reducir y evitar la transmisión de las ondas sonoras (y las vibraciones), por vía aérea o estructural, entre un recinto emisor y un recinto receptor o viceversa, con el fin de obtener una calidad acústica determinada. En términos de magnitud física, el aislamiento acústico será la porción de energía de la onda sonora que se atenúa al transmitirse desde un recinto emisor a un receptor [22].

A diferencia del aislamiento acústico, el acondicionamiento acústico implica a un único recinto (Figura 2-9), es decir, el sonido es generado y percibido en el mismo recinto. Por acondicionamiento acústico se entiende una serie de medidas dirigidas al control y mejora de las condiciones de propagación de las ondas sonoras en el interior de un recinto, con el objeto de obtener un ambiente acústico apropiado a la actividad que se desarrolla en él.

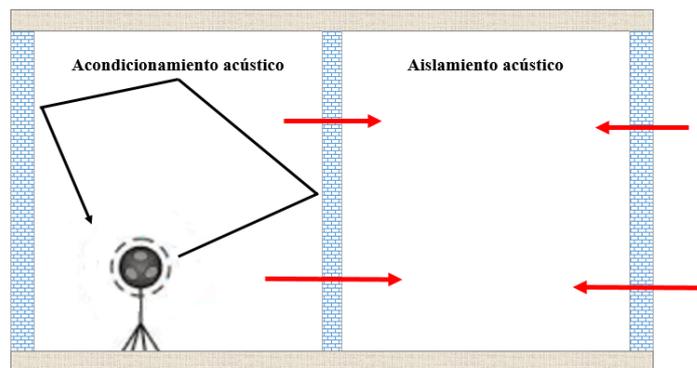


Figura 2-9. Esquema de aislamiento y acondicionamiento acústico

2.7.1 Absorción acústica

Las superficies de un recinto reflejan parcialmente el sonido que incide sobre ellas, el resto es absorbido, es decir, es la reducción de la energía asociada a las ondas sonoras. En función del tipo de material y recubrimiento de una pared, esta podrá absorber más o menos el sonido. Para poder evaluar estas propiedades de absorción de un material se debe definir el coeficiente de absorción (α) [6]:

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i}$$

Representa la relación entre la energía absorbida (E_a) y la energía incidente (E_i) por unidad de superficie. El coeficiente de absorción acústica tiene una gran importancia para el comportamiento acústico de un ambiente, es más, interviene directamente en la reverberación. Por ello, se han tabulado los coeficientes de absorción para multitud de materiales y objetos.

Los materiales de obra típicos poseen valores de α bajos y los materiales porosos absorbentes valores de α elevados [23].

Para un material con unas características dadas, el coeficiente de absorción acústica depende en gran medida de la frecuencia del sonido incidente, tendiendo en general a aumentar al hacerlo está. Por tanto, los materiales absorbentes porosos no absorben por igual todas las frecuencias del sonido que incide sobre ellos, sino que poseen mayor eficacia para las altas frecuencias. Por ello, los valores del coeficiente de absorción de un material para una situación dada se especifican para cada una de las frecuencias normalizadas de las bandas de octava o de 1/3 de octava.

a) Factores condicionantes de la absorción acústica:

Como ya se ha mencionado anteriormente, los valores del coeficiente de absorción acústica dependen en gran medida de la frecuencia, pero, además dependen de factores como el espesor

y la densidad del material, y de la distancia de colocación respecto al tabique o elemento de obra.

- **Espesor del material:**

A medida se incrementa el espesor del material se consigue un aumento de la absorción para todas las frecuencias. Esto se debe a que el camino recorrido por la onda sonora en el interior del material será más largo, por lo tanto, aumenta las fricciones durante su trayecto, provocando un aumento de la energía transformada en calor en el interior de la estructura porosa.

En la Figura 2-10 se aprecia el incremento de los coeficientes de absorción de un determinado material absorbente debido a un aumento en su espesor.

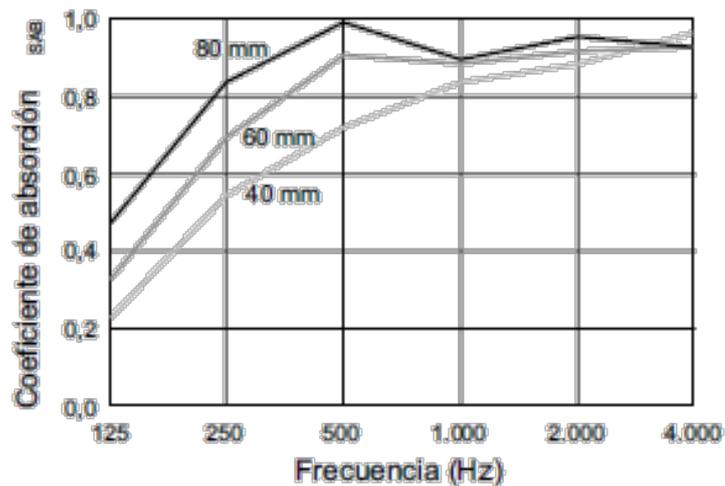


Figura 2-10. Variabilidad de la absorción en función de su espesor [27]

- **Separación del material absorbente respecto al tabique base:**

Es posible conseguir un efecto similar al indicado anteriormente mediante la colocación de un material de menor espesor pero separado una cierta distancia de la estructura de obra. Es decir, el comportamiento absorbente de un determinado material no depende exclusivamente de sus características, sino también del modo en que éste se coloque al ejecutar la obra.

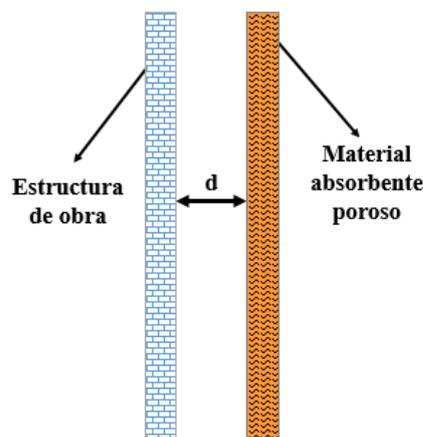


Figura 2-11. Separación material absorbente respecto a la estructura de obra

Los conocidos techos acústicos se basan precisamente en este principio, pues se instalan los paneles perforados a cierta distancia del forjado, como se puede apreciar en la Figura 2-12.



Figura 2-12. Techo acústico Aula de Grado

- **La densidad:**

La densidad de los materiales porosos resulta poco determinante en la absorción. Para un mismo espesor de material absorbente, sus respectivos coeficientes de absorción apenas varían para las distintas densidades.

2.7.2 Ruido aéreo

Se define como aquel ruido que se genera por la perturbación del aire que rodea a fuentes sonoras. Las ondas acústicas originadas por diversas fuentes chocan contra otras superficies, provocando que éstas entren en vibración y perturbando de nuevo el aire que las rodea, convirtiéndose así en un nuevo foco sonoro [6]. Véase la Figura 2-13.

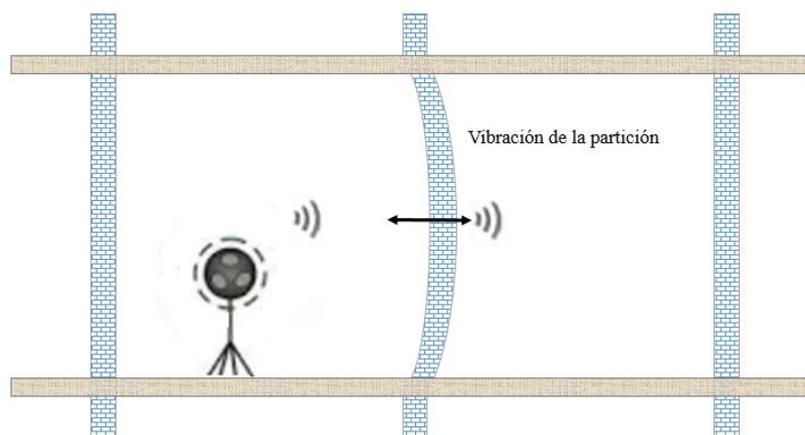


Figura 2-13. Esquema de propagación de ruido aéreo

Este nuevo foco sonoro actúa como un emisor secundario de ruidos aéreos, modificando el estado de reposo de la capa de aire inmediatamente próxima en el recinto contiguo, transmitiéndose de este modo el ruido a dicho local.

2.7.3 Ruido de impacto

Los golpes que se producen sobre un forjado, por ejemplo al caminar por encima de este (véase Figura 2-14), provocan una vibración en el mismo, convirtiéndose así en un foco sonoro. Generalmente la mayoría de estos elementos constructivos se caracterizaban por su alta rigidez, por ello, las excitaciones iniciales inducidas por dicho impacto se transmitían rápidamente y con una elevada intensidad por la estructura del edificio [6].

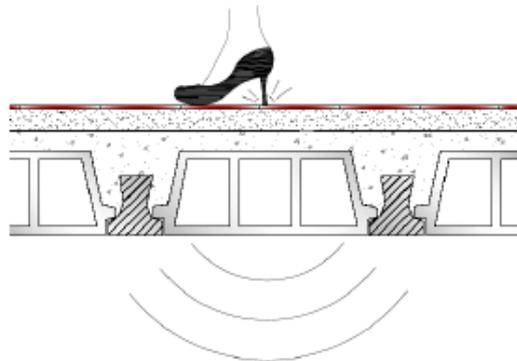


Figura 2-14. Propagación del ruido de impacto [6]

De este modo, las vibraciones de los tabiques y forjados ponen en movimiento las partículas de aire próximas a ellos, lo cual genera la aparición de ruidos aéreos no sólo en los locales inmediatamente inferiores al forjado excitado por el impacto, sino que también en otras dependencias de la instalación.

Para atenuar este tipo de ruidos, que se transmiten a través de los materiales, es necesario colocar durante la construcción capas intermedias blandas o cámaras de aire.

2.7.4 Inteligibilidad

La inteligibilidad nos indica la relación entre el número de elementos fonéticos correctamente recibidos y el número total de elementos fonéticos transferidos [7].

Es decir, nos indica cómo afectan las condiciones acústicas de un determinado recinto a la correcta percepción de las palabras emitidas por un orador que se encuentra en su interior.

3 NORMATIVA

A lo largo del presente apartado se analiza la normativa que regula las exigencias acústicas en la edificación, desde sus orígenes hasta su tendencia en la actualidad, incidiendo en las principales características de la normativa actual.

3.1 Introducción al Código Técnico de la Edificación

Con la creación de la Dirección General de Arquitectura del Ministerio de Gobernación en el año 1937, aparece la primera normativa técnica que regula el sector de la edificación. Sin embargo, a partir del año 1957, el desarrollo de dicha reglamentación pasa a ser responsabilidad del Ministerio de la Vivienda (a día de hoy, ha sido anulado y sus competencias han sido cedidas a Fomento) [24].

En el año 1977, con la aprobación del Real Decreto 1650/1997, el Gobierno decide unificar toda la normativa relacionada con la edificación y esta se transforma en Normas Básicas de la Edificación, en adelante NBE.

En 1999 se aprueba la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación que tiene como objeto regular completamente la normativa del sector de la edificación. La actualización de la reglamentación se debe principalmente a que esta se había quedado obsoleta y era incompatible con las NBE, en la propia Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) se autoriza la aprobación de un Código Técnico de la Edificación, que establezca las exigencias mínimas que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos mínimos de seguridad y habitabilidad.

Mediante la Ley de Ordenación de la Edificación se consigue actualizar en su conjunto la normativa de la edificación, que hasta el momento había sido ambigua y no respondía a las demandas de una sociedad como la nuestra.

Finalmente mediante el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, entra en vigor el Código Técnico de la Edificación y se derogan las Normas Básicas de la Edificación anteriores.

No es hasta el año 2007, con la entrada en vigor del Real Decreto 1371/2007, cuando se aprueba el Documento Básico DB-HR Protección frente al ruido [1].

El Código Técnico de la Edificación está compuesto por un conjunto de normativas recogidas en sus correspondientes Documentos Básicos, los cuales son los siguientes: “Documento Básico de Seguridad Estructural”, “Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio”, Documento Básico de

Seguridad de Utilización y Accesibilidad”, “Documento Básico de Salubridad”, “Documento Básico de protección frente al Ruido” y el “Documento Básico de Ahorro de Energía”.

3.1.1 El Real Decreto 1371/2007

El BOE núm. 25, del martes 23 de octubre del 2007, publicó el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico “DB-HR Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación [25].

Con su aprobación se ratifica que todos los ciudadanos tienen el derecho a un ambiente adecuado, alejado de ruidos molestos, fuente de enfermedades. Por ello, las Administraciones Públicas deben establecer los mecanismos adecuados para asegurar el confort acústico en los edificios, facilitando su uso y que éste se produzca libre de contaminación acústica.

Con los objetivos de mejorar la calidad de la edificación y de promover la innovación y la sostenibilidad, se aprobó, mediante el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, el Código Técnico de la Edificación, en adelante CTE. Mediante la aprobación de la presente normativa el Estado regula las exigencias mínimas de calidad de los edificios permitiendo satisfacer los requisitos básicos de la edificación relacionados con la seguridad y el bienestar. Estos requisitos básicos de la edificación fueron establecidos en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. Dicha Ley, en su disposición final segunda aprueba el CTE mediante real decreto.

Durante la tramitación Real Decreto 1371/2007 se han cumplido los trámites establecidos en la Ley 50/1997, de 27 de noviembre; en la cual se contempla que tanto a las asociaciones profesionales como a los sectores privados se les diera audiencia.

En el citado Real Decreto 1371/2007 se dispone lo siguiente en relación al régimen de aplicación:

- *Disposición transitoria primera. Edificaciones a las que no se aplicará el Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido» del CTE.*
El Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido» del CTE no será de aplicación a las obras de nueva construcción y a las obras en los edificios existentes que tengan solicitada la licencia municipal de obras a la entrada en vigor de este real decreto.
- *Disposición transitoria segunda. Régimen de aplicación de la normativa anterior al Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido» del CTE.*
Durante los 12 meses posteriores a la entrada en vigor de este real decreto, podrá continuar aplicándose el Real Decreto 1909/1981, de 24 de julio, por el que se aprueba la norma básica de la edificación NBE CA-81 sobre condiciones acústicas en los edificios, modificada por el Real Decreto 2115/1982, de 12 de agosto, pasando a llamarse NBE CA-82, y revisada por Orden de 29 de septiembre de 1988, pasando a denominarse NBE CA-88, sin perjuicio de su derogación expresa en la disposición derogatoria única de este real decreto.
Durante dicho periodo transitorio, se podrá optar por aplicar la anterior norma básica o podrán aplicarse las exigencias básicas desarrolladas en el Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido» del CTE que se aprueba.
- *Disposición transitoria tercera. Régimen de aplicación, del Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido» del CTE.*
Durante los 12 meses posteriores a la entrada en vigor de este real decreto podrán aplicarse las exigencias básicas desarrolladas en el Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido» del CTE, sin perjuicio de lo previsto en la disposición final tercera de este real decreto sobre su entrada en vigor.

Una vez finalizado este periodo transitorio, será obligatoria la aplicación de las exigencias básicas desarrolladas en el Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido»

3.2 Normativa actual de aplicación. Exigencias reseñadas en el CTE-DB-HR

3.2.1 Documento Básico DB-HR Protección frente al ruido

El Documento Básico DB-HR “Protección frente al ruido”, es de obligado cumplimiento desde el día 24 de abril de 2009 [22].

Este Documento Básico tiene por objeto establecer los distintos procedimientos y reglas que garanticen el cumplimiento de las exigencias básicas de protección frente al ruido. Mediante una correcta aplicación del mismo este requisito estará logrado.

En el artículo 14 de la Parte I del CTE se establece el objetivo del requisito básico “Protección frente al ruido” así como las exigencias básicas del mismo y son los siguientes:

“El objetivo del requisito básico “Protección frente al ruido” consiste en limitar, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda producir a los usuarios como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán y mantendrán de tal forma que los elementos constructivos que conforman sus recintos tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo, del ruido de impactos y del ruido y vibraciones de las instalaciones propias del edificio, y para limitar el ruido reverberante de los recintos.

El Documento Básico “DB-HR Protección frente al ruido” especifica parámetros objetivos y sistemas de verificación cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de protección frente al ruido.”

En el artículo 2, Parte I se establece el ámbito de aplicación del Documento Básico, exceptuándose los casos que se indican a continuación:

- a) *Los recintos ruidosos, que se regirán por su reglamentación específica.*
- b) *Los recintos y edificios de pública concurrencia destinados a espectáculos, tales como auditorios, salas de música, teatros, cines, etc., que serán objeto de estudio especial en cuanto a su diseño para el acondicionamiento acústico, y se considerarán recintos de actividad respecto a las unidades de uso colindantes a efectos de aislamiento acústico.*
- c) *Las aulas y las salas de conferencia cuyo volumen sea mayor de 350 m³, que serán objeto de un estudio especial en cuanto a su diseño para el acondicionamiento acústico, y se considerarán recintos protegidos respecto de otros recintos y del exterior a efectos de aislamiento acústico.*
- d) *Las obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación en los edificios existentes, salvo cuando se trate de rehabilitación integral. Asimismo quedan excluidas las obras de rehabilitación integral de los edificios protegidos oficialmente en razón de su catalogación, como bienes de interés cultural, cuando el cumplimiento de las exigencias suponga alterar la configuración de su fachada o su distribución o acabado interior, de modo incompatible con la conservación de dichos edificios.*

En el presente documento en su documento básico de protección frente al ruido se define en su Anejo A varios tipos de recintos, a continuación y a modo de resumen se exponen estos en la Tabla 3-1.

Recinto habitable	<p>Recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran recintos habitables los siguientes:</p> <p>a) habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.)</p> <p>b) aulas, salas de conferencia, despachos, en edificios de uso docente;</p> <p>c) quirófanos, salas de espera, en edificios de uso sanitario;</p> <p>d) oficinas, despachos, salas de reunión, en edificios de uso administrativo;</p> <p>e) cocinas, baños, aseos, pasillos, distribuidores y escaleras.</p> <p>f) cualquier otro uso asimilable a los anteriores.</p>
Recinto protegido	<p>Recinto habitable con mejores características acústicas. Se consideran recintos protegidos los recintos habitables:</p> <p>a) habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.)</p> <p>b) aulas, salas de conferencia, despachos, en edificios de uso docente;</p> <p>c) quirófanos, salas de espera, en edificios de uso sanitario;</p> <p>d) oficinas, despachos, salas de reunión, en edificios de uso administrativo;</p>
Recinto de actividad	Comercial, administrativa, lúdica industrial, garajes y aparcamientos.
Recinto de instalaciones	Recinto que contiene equipos de instalaciones colectivas del edificio, entendiéndose como tales, todo equipamiento o instalación susceptible de alterar las condiciones ambientales de dicho recinto. A efecto del DB-HR, el recinto del ascensor no se considera un recinto de instalaciones a menos que la maquinaria esté dentro del mismo.
Recinto ruidoso	Recinto, de uso generalmente industrial, cuyas actividades producen un nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado en A, en el interior del recinto, mayor que 80 dBA.

Tabla 3-1. Tipos de recintos según el DB-HR Protección frente al ruido [22]

Tal y como se recoge en la tabla anterior, el recinto de estudio se engloba en la clasificación de recinto protegido.

A continuación en la Tabla 3-2 se reflejan los aislamientos acústicos exigidos por el DB-HR del CTE:

Aislamiento acústico a ruido aéreo	Aislamiento exigido por el CTE
Entre unidades de uso distintas, colindantes vertical u horizontalmente	$D_{nTA} \geq 50 \text{ dBA}$
Frente al ruido generado en la misma unidad de uso	$R_A \geq 33 \text{ dBA}$

Entre una unidad de uso y una zona común, colindantes vertical u horizontalmente, siempre que no compartan puertas o ventanas	$D_{nTA} \geq 50 \text{ dBA}$
Protección frente al ruido exterior	Aislamiento exigido por el CTE
Entre un recinto protegido y el exterior, con predominio de tráfico rodado	$D_{2m,nT,Atr} \geq 30 - 47 \text{ dBA}$ (Dependiendo del ruido exterior y del uso del edificio)
Entre un recinto protegido y el exterior, con predominio de tráfico aéreo	$D_{2m,nT,Atr} \geq 34 - 51 \text{ dBA}$
Entre un recinto protegido y el exterior, con predominio de tráfico ferroviario	$D_{2m,nT,Atr} \geq 30 - 47 \text{ dBA}$ (Dependiendo del ruido exterior y del uso del edificio)
Aislamiento acústico a ruido de impactos	Nivel exigido por el CTE
Nivel global de presión de ruido de impactos, en un recinto protegido colindante vertical, horizontalmente o que tenga una arista horizontal común con cualquier otro que pertenezca a una unidad de uso diferente o con una zona común del edificio	$L'_{nT,w} \leq 65 \text{ dB}$
Nivel global de presión de ruido de impactos en un recinto protegido colindante vertical, horizontalmente o que tenga una arista horizontal común con un recinto de actividad o con un recinto de instalaciones	$L'_{nT,w} \leq 60 \text{ dB}$

Tabla 3-2. Exigencias establecidas por el DB-HR del CTE [22]

3.2.2 Principales novedades generales introducidas por el Documento Básico DB-HR “Protección frente al ruido” respecto a la anterior normativa acústica NBE-CA-88

El DB-HR no solo supone un incremento cuantitativo en los niveles de exigencia respecto a la normativa anterior, sino que plantea un completo cambio en el modo de evaluar el comportamiento del ruido en el edificio. Pasando de la evaluación del aislamiento de los elementos constructivos en laboratorio, a la posible evaluación del comportamiento acústico del edificio terminado (medido “in situ”) [22].

La siguiente Tabla 3-3 muestra, a modo de resumen, las principales novedades introducidas por el Documento Básico “DB-HR Protección frente al ruido” respecto a la normativa acústica anterior, Norma Básica de Edificación (NBE-CA-88):

Nuevos índices o parámetros de aislamiento	Las exigencias de aislamiento acústico entre recintos y respecto al exterior se expresan mediante nuevos parámetros. Estos nuevos índices acústicos tienen en cuenta las transmisiones estructurales, no consideradas en laboratorio, se pueden obtener "in situ", pasando a hablar en términos de aislamientos entre recintos.
Cambio cuantitativo, relativo a los aislamientos mínimos exigidos	Incremento en los valores de los aislamientos acústicos mínimos exigidos (tanto a ruido aéreo como a ruido de impacto).
Cambio cualitativo, relativo a la verificación de los aislamientos exigidos	Los nuevos parámetros acústicos permiten comprobar "in situ" en obra el cumplimiento de las exigencias
Carácter prestacional	Al igual que en los restantes Documentos Básicos del CTE, se busca el cumplimiento de las exigencias en obra terminada. Por ello, el Documento no indica ni limita sistemas constructivos concretos, aunque existe la posibilidad mediante la opción simplificada de conocer en la etapa de diseño las características acústicas mínimas de ciertos elementos genéricos.
Exigencia de acondicionamiento acústico	<ul style="list-style-type: none"> - Introduce la necesidad de adecuar el tiempo de reverberación de aulas y salas de conferencias, restaurantes y comedores, estableciendo tiempos de reverberación máximos. - Los acabados superficiales que delimitan la zona común de un edificio docente han de proporcionar una absorción acústica mínima, permitiendo así reducir los niveles sonoros que se transmiten a los recintos contiguos.
Nueva terminología	Con el objetivo de definir diferentes recintos (habitables, protegidos, de actividad y de instalaciones) en la edificación, se introduce una nueva terminología
Requisitos de diseño y ejecución	<ul style="list-style-type: none"> -Establece unos requisitos de diseño y ejecución de los elementos constructivos. -Establece exigencias de diseño y ejecución de las instalaciones para evitar la transmisión de ruido y vibraciones.
Características de los materiales	Establece una serie de propiedades acústicas de los elementos de construcción, así como unas características que deberán documentar los fabricantes de los materiales empleados en la construcción.
Establece dos opciones para el diseño y dimensionado en fase de proyecto de los elementos constructivos	<p>-Opción simplificada: Soluciones de aislamiento. Proporciona características acústicas mínimas de soluciones constructivas genéricas que dan conformidad a las exigencias de aislamiento en las diferentes situaciones.</p> <p>- Opción general: Método de cálculo de aislamiento acústico. Contiene un procedimiento de cálculo que permite comprobar, de modo predictivo, si las soluciones constructivas concretas que se pretenden ejecutar satisfarán los requisitos de aislamiento establecidos.</p>

Tabla 3-3. Principales novedades introducidas por el DB-HR Protección frente al ruido [22]

Como se ha dicho anteriormente, el DB-HR introduce como novedad la posibilidad de controlar la calidad acústica de una obra terminada. En el caso de que se realice la medición "in situ" para comprobar las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo, de aislamiento acústico a ruido de

impactos y de limitación del tiempo de reverberación, se realizarán por laboratorios acreditados y conforma a lo establecido en las UNE EN ISO 140-4 y UNE EN ISO 140-5 para ruido aéreo, en la UNE EN ISO 140-7 para ruido de impactos y en la UNE EN ISO 3382 para tiempo de reverberación. La valoración global de los resultados de las mediciones de aislamiento se realizará conforme a las definiciones de diferencia de niveles estandarizada para cada tipo de ruido según lo establecido en la Tabla 4-3 y Tabla 4-4 de la presente memoria.

4 EVALUACIÓN CONDICIONES ACÚSTICAS DEL AULA DE GRADO DEL CUD

4.1 Descripción general

A lo largo del presente capítulo se van a desarrollar y detallar las partes fundamentales que componen el proyecto, explicando en primer lugar las características básicas del recinto analizado, así como su estructura arquitectónica. Además, se explicará el proceso llevado a cabo para determinar los distintos valores de aislamiento que posee respecto a los recintos colindantes y respecto al exterior. Para finalizar, el estudio se basará en la normativa vigente actualmente para dar una mayor robustez a los resultados obtenidos en la evaluación de las condiciones acústicas del aula.

4.2 Características del recinto analizado

El Aula de Grado está ubicada en la planta baja del edificio del Centro Universitario de la Defensa, en la Escuela Naval Militar. En su día fue el aula de artillería. Con la implementación del nuevo plan de estudios se acometieron una serie de reformas y aunque su función en esencia es la misma, ya que continúa siendo un espacio dedicado para la formación de los futuros oficiales de la Armada, su estructura arquitectónica y disposición han variado notablemente.

Como se aprecia en la Figura 4-1, el aula tiene una forma rectangular y se encuentra ubicada en la parte oeste del edificio anteriormente mencionado.

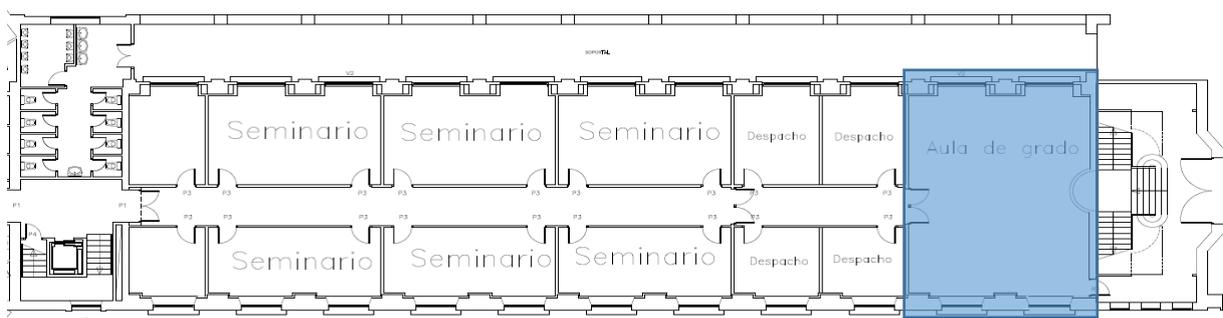


Figura 4-1. Distribución planta baja edificio del Centro Universitario de la Defensa

4.2.1 Proceso de ejecución del aula

A lo largo del año 2009 se acometió la reforma anteriormente mencionada. En el presente subapartado se explicarán las principales características que la definen.

En primer lugar, el suelo del recinto es de mármol rojo colocado sobre una solera de hormigón ya existente, sin que se haya instalado ningún elemento elástico, para la limitación de la propagación de ruidos aéreos y de impactos, durante las obras de reforma.

Los tabiques interiores son de perfilería autoportante de 70 mm, contruidos por dos láminas de yeso laminado en cada cara y una cámara, rellena de aislamiento térmico/acústico de lana de roca, como se puede ver en la Figura 4-2.



Figura 4-2. Estructura tabique interior

La parte ciega de la fachada es de doble hoja, poseen muros exteriores de piedra trasdosados interiormente con una placa de pladur y 40 mm de aislamiento con lana de roca en la cámara. En la Figura 4-3 se aprecia una vista del muro exterior desde el interior del edificio.



Figura 4-3. Vista del muro exterior desde el interior del edificio

El falso techo es de lamas metálicas con perfilería oculta y dispone de una capa de material absorbente acústico. En la Figura 4-4 se aprecia la estructura del techo.



Figura 4-4. Estructura del techo

4.2.2 Estado actual del Aula de Grado

Como resultado de la ejecución de las reformas acometidas en el edificio del Centro Universitario de la Defensa (véase Figura 4-5), el recinto a estudiar presenta las siguientes dimensiones:

- Longitud: 10,54 m.
- Anchura: 8,13 m.
- Altura: 3,48 m.

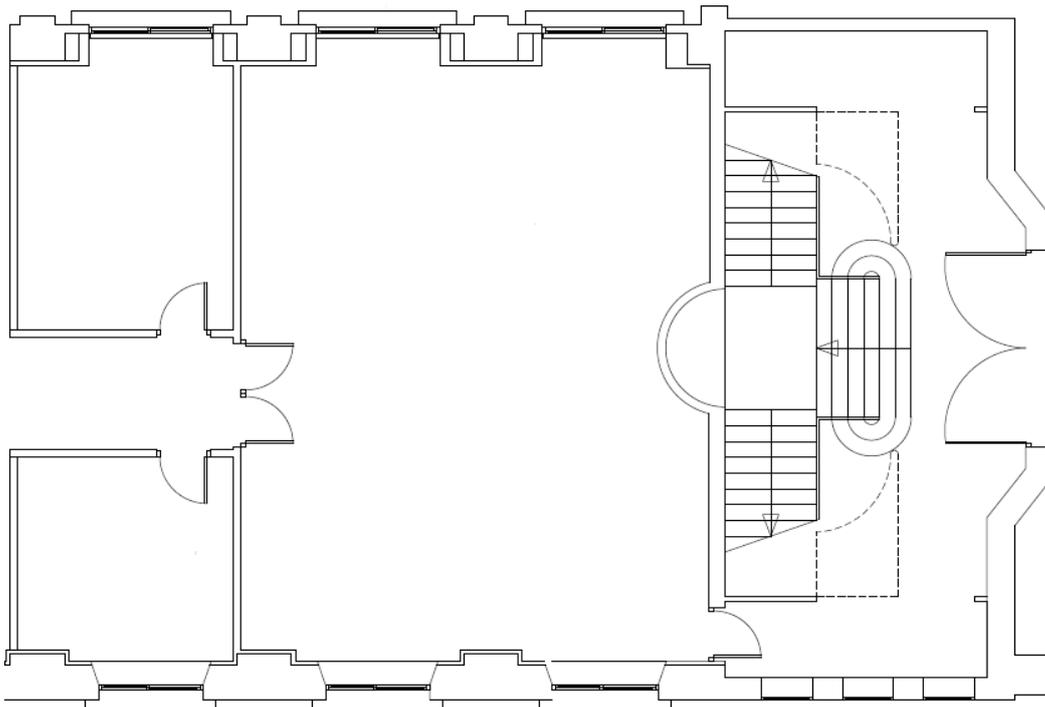


Figura 4-5. Plano del aula

Teniendo en consideración las medidas anteriores, se obtiene un volumen total de 289 m³. En la Tabla 4-1 se muestran los distintos acabados del aula.

Elemento	Acabado	Área
Suelo	Terrazo (mármol rojo)	66,38 m ²
Techo	Paneles metálicos perforados	84,03 m ²
Paramentos	Placa de yeso laminado	66,38 m ²
	Enlucido de yeso	27,73 m ²
	Vidrio (ventanas)	13,14 m ²
	Madera (puertas)	5,16 m ²
	Parquet	18,66 m ²

Tabla 4-1. Áreas de los acabados del recinto

En la actualidad el aula de grado alberga eventos como la defensa de los distintos Trabajos de Fin de Grado por parte de los alumnos del centro y conferencias de distinta índole.

A continuación se reflejan distintas imágenes del Aula de Grado:



Figura 4-6. Fotografía general del Aula de Grado



Figura 4-7. Imagen del techo acústico del Aula de Grado



Figura 4-8. Fotografía del Aula de Grado



Figura 4-9. Fotografía de la fachada vista desde el interior del Aula de Grado



Figura 4-10. Huecos del Aula de Grado



Figura 4-11. Parquet y mármol rojo

4.3 Relación de la normativa y parámetros recogidos

Para el análisis de la calidad acústica del Aula de Grado se han llevado a cabo una serie de ensayos “in situ”. En cada uno de éstos se ha recogido el parámetro característico global siguiendo la norma de medida indicada por la normativa en vigor, para compararlo con la normativa actual. En las tablas que se muestran a continuación se refleja una relación, a modo de resumen, de los distintos parámetros así como su correspondiente norma de medida.

Tiempo de reverberación	
Medición	
Magnitud	Norma
Tr (segundos)	Une-EN ISO 3382-2

Tabla 4-2. Normativa y parámetro recogido para el tiempo de reverberación [26]

Aislamiento acústico a ruido aéreo				
Situación tipo de aislamiento	Ruido incidente o dominante exterior	Magnitud	Norma de medición	Magnitud de valoración global
Entre recintos interiores	Rosa	$D_{nT}(f)$	UNE-EN ISO 16283-1	$D_{nT,A}$
Entre recintos y el exterior	Ferrovionario	$D_{2m,nT}(f)$	UNE-EN ISO 140-5 (ruido de altavoces)	$D_{2m,nT,A}$
	Automóviles			$D_{2m,nT,Atr}$
	Aeronaves			

Tabla 4-3. Normativa y parámetros recogidos para el aislamiento acústico a ruido aéreo [27] [28]

Aislamiento acústico a ruido de impacto			
Medición		Valoración	
Magnitud	Norma	Magnitud	Norma
$L'_{nT}(f)$	UNE-EN ISO 140-7	$L'_{nT,w}$	UNE-EN ISO 717-2

Tabla 4-4. Normativa y parámetro recogido para el aislamiento acústico a ruido de impacto [29]

4.4 Principales características de la instrumentación empleada

La realización de los ensayos “in situ” se ha llevado a cabo con la siguiente instrumentación:

- Sonómetro integrador Brüel&Kjaer modelo 2260:**
 Es un instrumento portátil capaz de realizar todas las medidas y análisis que normalmente se utilizan en la evaluación de ruido en los ensayos “in situ”. Este analizador de ruido cumple con la normativa más reciente de sonómetros. Tiene la capacidad de medir en paralelo todos los parámetros de banda ancha y valores estadísticos. También es posible almacenar datos espectrales y de banda ancha, y así obtener un historial temporal para su posterior análisis. Como opción a estas funciones estándar, se puede añadir la medición del tiempo de reverberación. Esta opción resulta muy útil cuando se llevan a cabo distintos ensayos en un mismo local. En la Figura 4-12 se puede observar una imagen del sonómetro en el Aula de Grado [30].



Figura 4-12. Sonómetro modelo 2260 de Brüel & Kjaer

- **Fuente sonora omnidireccional modelo 4296 de Brüel & Kjaer:**

Fuente sonora compuesta por 12 altavoces incorporados en una estructura dodecaédrica, que radia el sonido de manera omnidireccional, tal y como establecen los estándares ISO. Opera en un rango de frecuencias más amplio que las exigencias normativas de aislamiento (comprendido entre 100 – 5000 Hz). En la Figura 4-13 se muestra una imagen de la fuente sonora durante los ensayos realizados [30].



Figura 4-13. Fuente sonora omnidireccional modelo 4296 de Brüel & Kjaer

- **Máquina de impactos Bruel&Kjaer modelo 3207:**

La máquina de impactos se compone de cinco martillos en línea, cada uno pesa 500 gramos y opera a con una frecuencia de 2 Hz, con una carrera de 40 mm, obteniendo así una frecuencia operacional de 10 Hz. Con estas características la máquina de impactos cumple con la normativa ISO. Los martillos son accionados a través de taqués en un solo eje, siendo éste accionado por un motor de corriente continua. Dicha máquina como se muestra en la Figura 4-14 se basa en un chasis de aluminio soldado [30].



Figura 4-14. Máquina de impactos modelo 3207 de Brüel & Kjaer

- Calibrador acústico Brüel&Kjaer modelo 4231:**
 Calibrador de medidores de nivel de sonido y otros equipos de medición. Tiene una precisión de $\pm 0,2 \text{ dB}$. Como características principales cabe destacar su gran independencia respecto a la presión estática y la temperatura. Se apaga automáticamente cuando se retira del micrófono [31].



Figura 4-15. Calibrador acústico modelo 4231 de Brüel & Kjaer [31]

4.5 Determinación del aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos colindantes horizontalmente

En el presente apartado se determinará el aislamiento a ruido aéreo entre el despacho colindante y el Aula de Grado. Según el DB-HR, como se ha indicado anteriormente, cada recinto constituye una unidad de uso.

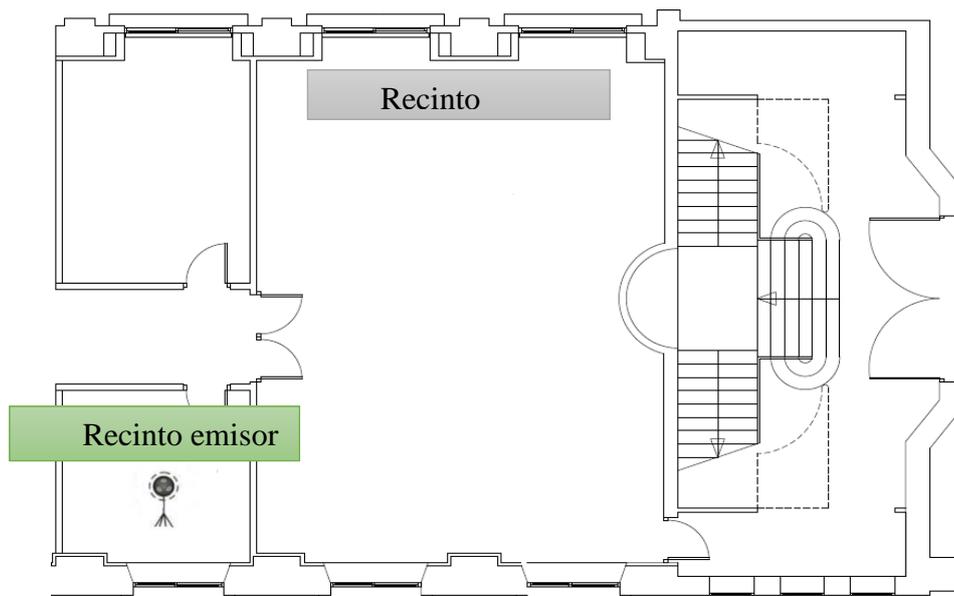


Figura 4-16. Plano del Aula de Grado y recintos colindantes

4.5.1 Parámetro acústico recogido ($D_{nT,A}$)

El valor del aislamiento acústico de un sistema constructivo o entre recintos puede obtenerse y expresarse mediante una multitud de términos. Es más, en la comunidad internacional cada país tiene su propio índice, concretamente en España se ha hecho uso del índice requerido por la NBE-CA-88 (R) hasta hace relativamente poco tiempo. Actualmente se suele obtener el índice exigido por el Código Técnico de la Edificación (D_{nT}) [27].

Sin embargo, los dos índices tienen la misma base; parten del aislamiento acústico bruto. Dicho índice refleja de la forma más sencilla posible el aislamiento, estableciendo la relación entre los niveles medios de presión acústica L_1 en el recinto emisor y L_2 en el receptor (ambos expresados en dB):

$$D = L_1 - L_2 \text{ (dB)}$$

Es importante recordar que el aislamiento propiciado por un elemento constructivo varía en función de la frecuencia, por tanto, este índice se ha de calcular para cada una de las frecuencias.

Los resultados obtenidos según el índice D dependerán de las características acústicas del local receptor, ya que cuando se mide el nivel sonoro recibido en dicho local no sólo se recoge el sonido transmitido directamente sino que también aquel que se refleja en los cerramientos del local. Es decir, el nivel medio de presión acústica en el recinto receptor dependerá del carácter más o menos absorbente que posea. Por tal motivo y con el objetivo de independizar el aislamiento de las particiones de las condiciones reverberantes del local receptor, a la definición anteriormente expuesta se le añaden unos factores correctores que tienen en cuenta las características del local receptor y que da lugar a nuevos índices de aislamiento a ruido aéreo.

En función de estos factores correctores se obtienen el; índice de reducción sonora aparente (R') y diferencia de niveles estandarizada (D_{nT}).

El **Índice de Reducción Sonora Aparente** tiene el inconveniente de que es necesario conocer el área del elemento separador, como se muestra en la siguiente expresión:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

{

S = Área del elemento separador

A = Área de absorción sonora equivalente del recinto receptor

Con la entrada en vigor del DB-HR "Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación se emplea la **Diferencia de Niveles Estandarizada**. Dicho parámetro utiliza un término corrector dependiente del tiempo de reverberación, véase la siguiente expresión:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ dB}$$

{

T = Tiempo de reverberación en el recinto receptor, en segundos

T₀ = Tiempo de reverberación de referencia, normalizado a 0,5 segundos

Una vez conocido el parámetro utilizado para evaluar el aislamiento entre recintos interiores, es necesario introducir una magnitud global de referencia para poder establecer los requisitos de aislamiento. Así, una vez conocidos los valores de la Diferencia de Niveles Estandarizada para cada frecuencia ($D_{nT,i}$) mediante la realización de un ensayo de aislamiento realizado in situ empleando un ruido incidente rosa, la siguiente ecuación permite obtener el valor global $D_{nT,A}$ (en dBA) a partir de tales valores:

$$D_{nT,A} = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ar,i} - D_{nT,i})} (dBA)$$

Donde:

- $D_{nT,i}$: Diferencia de niveles estandarizada en la banda de frecuencia i , (en dB).
- $L_{Ar,i}$: Valor del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado A, en la banda de frecuencia i (en dBA).
- i : recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

4.5.2 Instrumentación empleada

Para la realización del ensayo se ha utilizado la siguiente instrumentación:

- Sonómetro integrador Bruel&Kjaer modelo 2260, n° de serie 2283397.
- Micrófono de campo libre Bruel&Kjaer modelo 4189, n° de serie 2275735.
- Calibrador acústico Bruel&Kjaer modelo 4231, n° de serie 2115494.
- Fuente sonora omnidireccional modelo 4296, n° de serie 2123832.
- Amplificador AGK, SR 300.
- Software “Qualifier Type 7830 ver. 2.3”.

4.5.3 Metodología para la toma de muestras. UNE-EN ISO 16283-1

Para la realización del ensayo acústico de aislamiento a ruido aéreo, se han seguido los procedimientos descritos en la norma UNE-EN ISO 16283-1: 2015 “Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo”. Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN ISO 140-4:1999 [27].

De acuerdo a la normativa para la determinación del aislamiento a ruido aéreo es necesario escoger un recinto como el recinto emisor conteniendo este la fuente sonora, y otro como recinto receptor (véase la Figura 4-16). Las mediciones requeridas incluyen los niveles de presión acústica en ambos recintos con la fuente funcionando, el ruido de fondo en el recinto receptor cuando la fuente está apagada y el tiempo de reverberación en el recinto receptor.

El procedimiento del ensayo “in situ” ha abarcado los siguientes pasos de la citada norma:

- i. En primer lugar, se han obtenido las mediciones de los niveles de presión acústica L_1 (en el recinto emisor) y L_2 (en el recinto receptor), expresado en dB, dichas mediciones se llevaron a cabo empleando una posición de fuente en el local emisor y 10 posiciones de micrófono en cada recinto, realizándose así 10 mediciones de cada parámetro. Como recinto emisor se ha elegido uno de los despachos colindantes con el Aula de Grado, como se puede observar en la Figura 4-18.



Figura 4-18. Medición del nivel de presión acústica L_1 (recinto emisor)

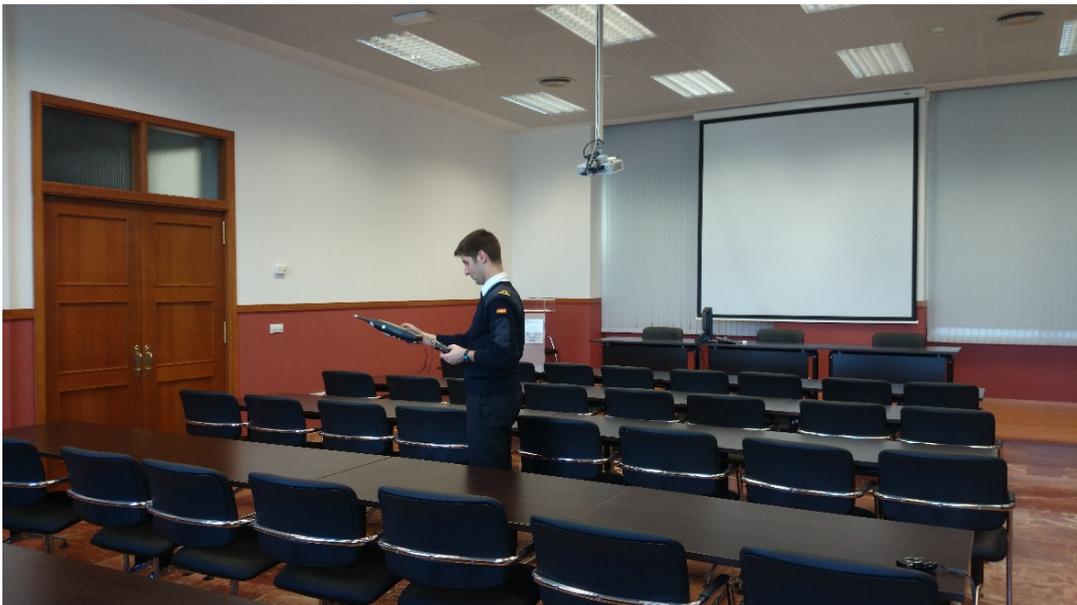


Figura 4-17. Medición del nivel de presión acústica L_2 (recinto receptor)

El recinto receptor ha sido el Aula de Grado a evaluar. Véase la Figura 4-17.

Las separaciones entre las distintas posiciones de los micrófonos cumplieron los siguientes valores mínimos:

- 0,7 m entre las posiciones de micrófono.
- 0,5 m entre cualquier posición de micrófono y los límites del recinto.
- 1,0 m entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora.

Por otro lado, la posición de la fuente sonora también se encuentra recogido en la normativa, debiendo cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- 0,5 m entre los límites del recinto y su posición.
- 1,0 m por encima del suelo.

En la Figura 4-19 se muestra las distintas posiciones de altavoz y de micrófono que se han elegido durante el desarrollo del ensayo “in situ”.

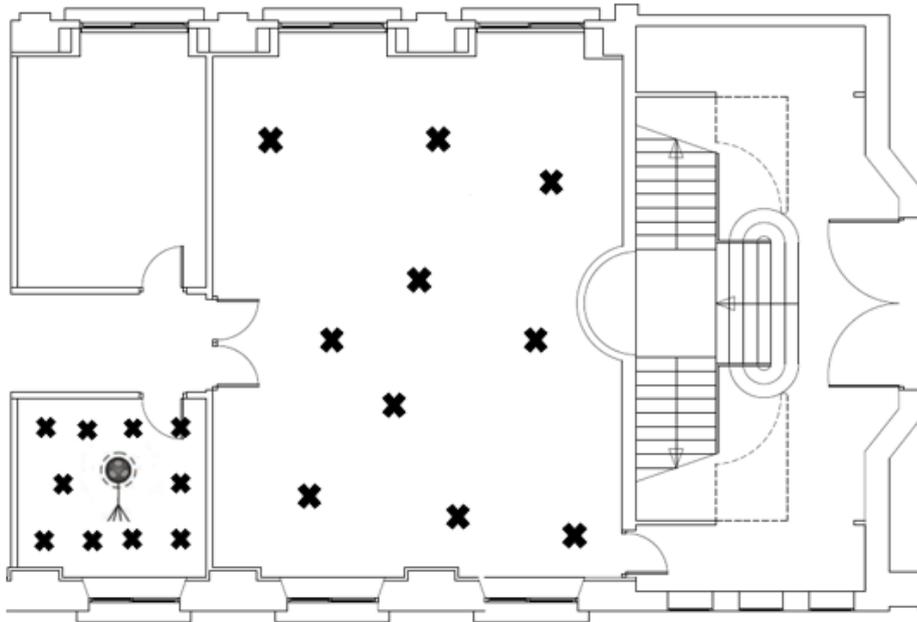


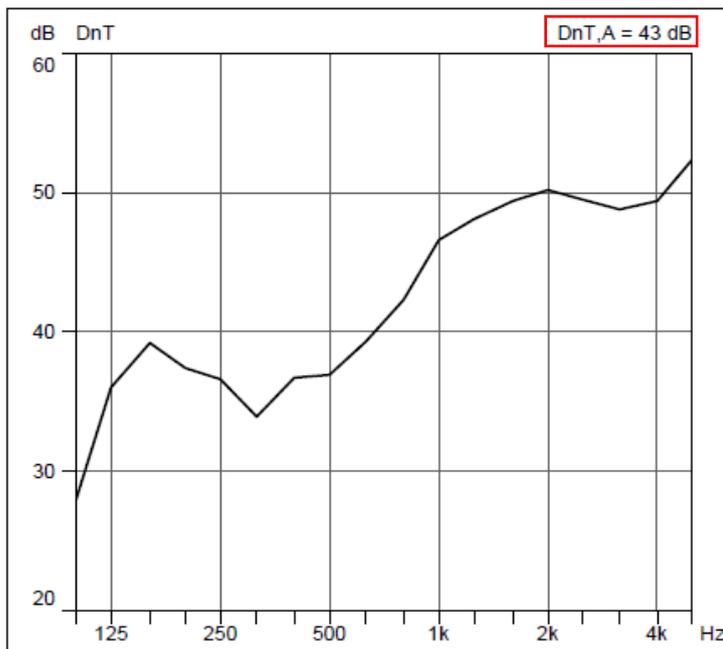
Figura 4-19. Posiciones de micrófono y fuente sonora

- ii. La medición del **ruido de fondo** (B_2) es otra medida requerida por la normativa. Se deben realizar las mediciones de los niveles del ruido de fondo para garantizar que el nivel de señal en el recinto receptor no esté afectado por el ruido de fondo y, en su defecto, corregirlo. El ruido procedente del exterior del recinto de ensayo, el ruido eléctrico en el sistema receptor, contribuyen al nivel del ruido de fondo. El procedimiento contempla el uso de un micrófono que se desplaza de una posición a otra. Todas estas mediciones se han realizado en una posición alejada de los límites del recinto, según la normativa, un mínimo de 1,2 m.
- iii. Para la determinación del **tiempo de reverberación** en el local receptor (T_2), se tomaron 6 registros con un mínimo de 4 posiciones distintas de foco sonoro y 3 posiciones de micrófono. Las condiciones del micrófono cumplieron los siguientes requisitos:
 - Un mínimo de 0,7 m entre ellas.
 - Alejadas más de 0,5 m de las paredes laterales.
 - Un mínimo de 1 m de la fuente sonora impulsiva.

4.5.4 Resultados obtenidos

A continuación se reflejan los resultados obtenidos del parámetro de diferencia de niveles estandarizada (D_{nT}) para cada una de las frecuencias de tercio de octava, así mismo, se indica el valor global obtenido ($D_{nT,A}$) en dicha medición.

i. Diferencia de Niveles Estandarizada (D_{nT}) para cada frecuencia:



Hz	D_{nT} (dB)
100	27,9
125	36
160	39,2
200	37,4
250	36,6
315	33,9
400	36,7
500	36,9
630	39,3
800	42,3
1 k	46,6
1,25 k	48,1
1,6 k	49,4
2 k	50,2
2,5 k	49,4
3,15 k	48,8
4 k	49,4
5 k	52,4

Figura 4-20. Gráfica aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos colindantes

ii. Valor global obtenido ($D_{nT,A}$): El valor obtenido de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos colindantes en el ensayo realizado ha sido 43 dBA. Véase Figura 4-20.

4.6 Determinación del aislamiento acústico a ruido aéreo de fachada del Aula de Grado

En el siguiente subapartado se presenta el aislamiento acústico a ruido aéreo de la fachada del Aula de Grado, para ello se ha realizado un ensayo “in situ” estudiando la fachada que se ubica en la cara norte del aula, orientada a la explanada de la Escuela Naval Militar.

4.6.1 Parámetro acústico recogido ($D_{2m,nT,Atr}$)

Siguiendo el ejemplo del parámetro acústico recogido en el ensayo de aislamiento a ruido aéreo entre recintos colindantes, el presente parámetro también parte de la diferencia de niveles (D_{2m}), entendiéndose esta como la diferencia entre el nivel de presión sonora exterior a 2 m frente a la fachada ($L_{1,2m}$) y el valor medio del nivel de presión sonora en el interior del local receptor (L_2). Véase la siguiente expresión [28]:

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

A dicha expresión le debemos añadir el factor corrector recogido en la norma con objeto de independizar las medidas obtenidas de las características reverberantes del local receptor. De esta forma se obtiene la **diferencia de niveles estandarizada** ($D_{2m,nT}$), expresada en decibelios:

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

T = Tiempo de reverberación en el recinto receptor, en segundos.

T_0 = Tiempo de reverberación de referencia, normalizado a 0,5 segundos.

La norma UNE-EN ISO 140-5 define la diferencia de niveles estandarizada como; “*diferencia de niveles, en decibelios, correspondiente a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el local receptor*”.

4.6.2 Instrumentación empleada

Para la realización del ensayo se ha utilizado la siguiente instrumentación:

- Sonómetro integrador Bruel&Kjaer modelo 2260, nº de serie 2283397.
- Micrófono de campo libre Bruel&Kjaer modelo 4189, nº de serie 2275735.
- Calibrador acústico Bruel&Kjaer modelo 4231, nº de serie 2115494.
- Fuente sonora omnidireccional modelo 4296, nº de serie 2123832.
- Amplificador AGK, SR 300.
- Software “Qualifier Type 7830 ver. 2.3”.

4.6.3 Metodología para la toma de muestras. UNE EN ISO 140-5

Para la realización de los ensayos acústicos de aislamiento a ruido aéreo de fachada se han seguido los procedimientos especificados en la norma UNE EN ISO 140-5: 1999 “Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas” [28].

En dicha norma se describen dos tipologías de métodos (métodos para elementos y métodos globales) para la medición del aislamiento a ruido aéreo de elementos de fachada y de fachadas completas, respectivamente. El objeto de los métodos para elementos es cuantificar el índice de reducción sonora de un elemento de fachada, por ejemplo una ventana. Por otra parte, el método global pretende valorar la diferencia del nivel sonoro exterior/interior en las condiciones acústicas existentes. Teniendo en consideración lo anterior, el presente grupo de trabajo ha decidido realizar el método global, ya que este permite cuantificar el aislamiento a ruido aéreo de una fachada completa.

Siguiendo la normativa, se ha decidido emplear una fuente sonora (véase la Figura 4-21; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), pues el tráfico rodado no reúne las condiciones suficientes de cara a la cuantificación del aislamiento acústico global de la fachada evaluada. El campo sonoro generado por dicha fuente abarca las frecuencias centrales desde 100 Hz hasta 5000 Hz.



Figura 4-21. Fuente sonora frente a la fachada

El proceso metodológico que se ha llevado a cabo durante el desarrollo del ensayo es el siguiente:

- i. Cuantificación de los niveles sonoros $L_{1,2m}$ (nivel de presión sonora exterior) y L_2 (nivel de presión sonora interior), expresados en decibelios. La **medición del nivel de presión sonora en el recinto de recepción** se ha obtenido mediante un único micrófono que se ha ido situando en distintas posiciones, como se muestra en la Figura 4-22, obteniendo un total de 10 posiciones.

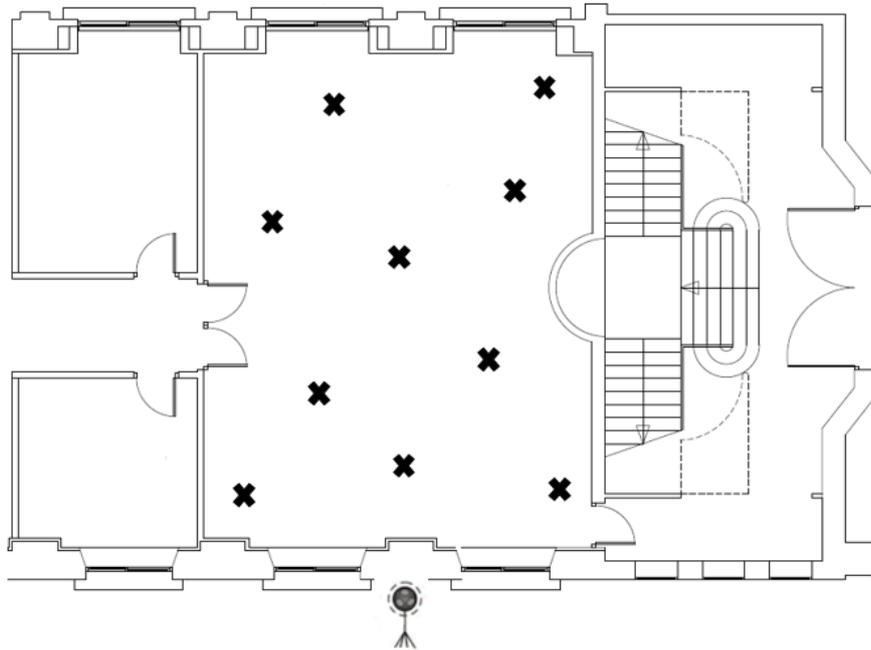


Figura 4-22. Posiciones de micrófono medición L_2

Los niveles de presión sonora obtenidos en las distintas posiciones de micrófono se han promediado para así obtener el nivel de presión sonora medio para cada frecuencia. Las separaciones entre las mencionadas posiciones del micrófono cumplieron los siguientes valores mínimos:

- 0,7 m entre posiciones de micrófono.
- 0,5 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes del recinto.
- 1,0 m entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora.



Figura 4-23. Medición del nivel de presión acústica L_2 (interior Aula de Grado)

La medición del **nivel de presión sonora en la fachada** ($L_{1,2m}$) se ha obtenido de manera similar al nivel de presión sonora en el interior del recinto. Las mediciones se han realizado con el micrófono orientado hacia la fuente sonora y equipando a este con una pantalla anti viento, evitando así las interferencias que se podrían ocasionar durante la realización de las mediciones.

El micrófono exterior se ha colocado en el centro de la fachada a una distancia de nunca inferior a 2 metros del plano de está. Se han empleado también 10 posiciones distintas de micrófono, como se puede apreciar en la Figura 4-24.

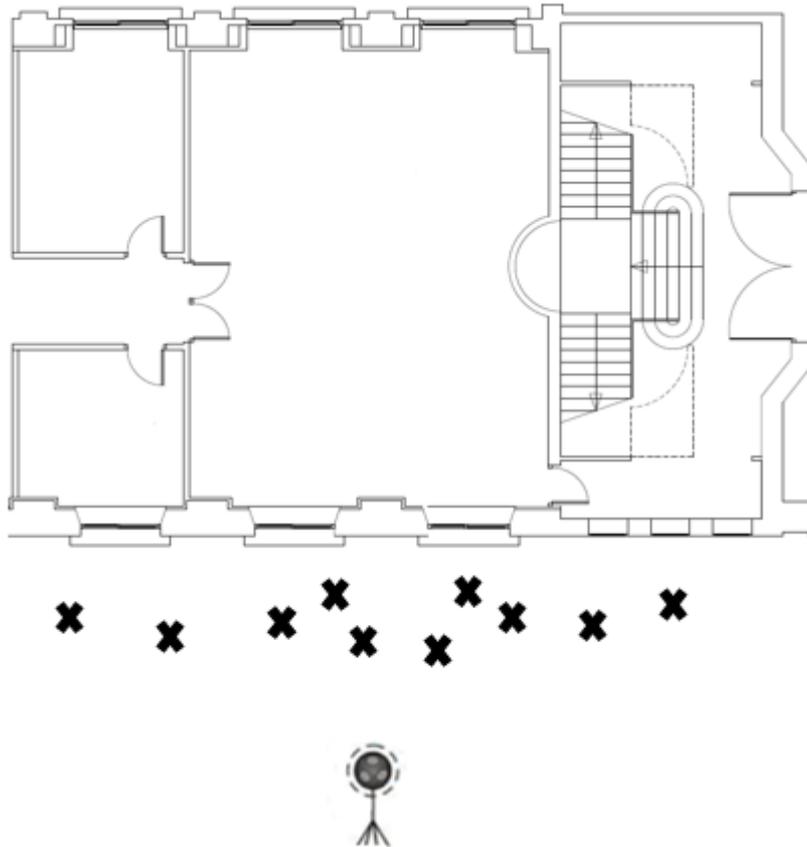


Figura 4-24. Posiciones de micrófono medición $L_{1,2m}$

En los muestreos indicados, todas las posiciones de micrófono se situaron a una altura de 1,5 m sobre el suelo del local receptor; además, durante las mediciones el ruido de fondo de dicho local fue, como mínimo, 10 dB inferior al nivel sonoro continuo equivalente inducido por la fuente sonora.



Figura 4-25. Medición del nivel de presión acústica $L_{1,2m}$ (frente a la fachada)

- ii. Así mismo, se ha medido el **tiempo de reverberación** (T_2). Es el factor corrector en la ecuación de diferencia de niveles estandarizada ($D_{2m,nT}$). Se tomaron 6 registros con un mínimo de 4 posiciones de foco sonoro y 3 posiciones de micrófono. Las posiciones de micrófono cumplieron los siguientes requisitos:
 - Un mínimo de 0,7 m entre ellas.
 - Alejadas más de 0,5 m de las paredes laterales.
 - Un mínimo de 1 m de la fuente sonora impulsiva.

- iii. Por último, se ha medido los **niveles de ruido de fondo** (B_2) como se ha mencionado anteriormente, el nivel de ruido de fondo del local ha sido, como mínimo, 10 dB inferior al nivel sonoro continuo equivalente inducido por la fuente sonora. Se han efectuado 3 mediciones del mismo en tres posiciones distintas del local receptor.

4.6.4 Resultados obtenidos

A continuación se reflejan los resultados obtenidos del parámetro de diferencia de niveles estandarizada ($D_{tr,2m,nT}$) para cada una de las frecuencias de tercio de octava; así mismo, se indica el valor global obtenido ($D_{2m,nT,Atr}$) en dicha medición.

i. Diferencia de Niveles Estandarizada ($D_{tr,2m,nT}$) para cada frecuencia:

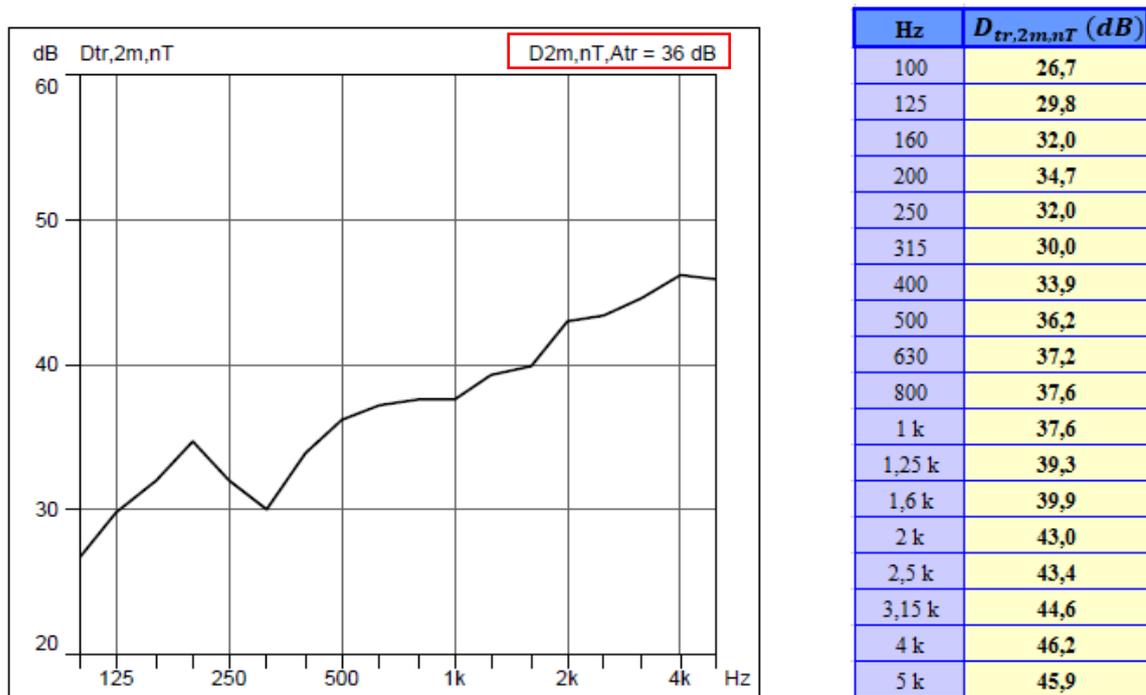


Figura 4-26. Gráfica aislamiento acústico a ruido aéreo de la fachada del Aula

ii. Valor global ($D_{2m,nT,Atr}$): El valor global obtenido respecto a ruido de tráfico de la Diferencia de Niveles Estandarizada es 36 dBA, tal y como refleja la Figura 4-26.

4.7 Determinación del aislamiento acústico a ruido de impacto de forjados entre recintos colindantes

En el siguiente subapartado se presenta el aislamiento acústico a ruido de impacto de forjados entre recintos colindantes, para ello se ha realizado un ensayo “in situ” ubicando la máquina de impactos en el despacho colindante tal y como se muestra en la Figura 4-27 .

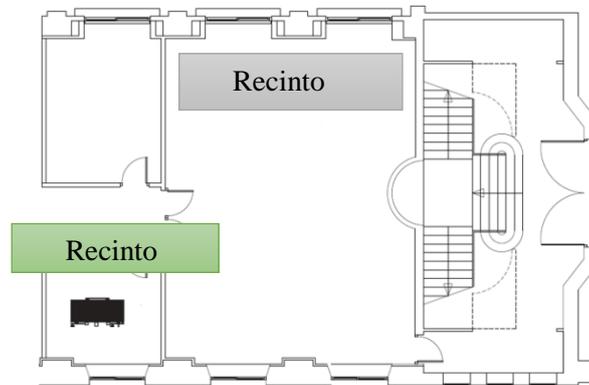


Figura 4-27. Plano del Aula y recintos colindantes

4.7.1 Parámetro acústico recogido ($L'_{nT,w}$)

El parámetro acústico recogido en el ensayo de aislamiento acústico a ruido de impacto de forjados entre recintos colindantes continúa con la línea de los parámetros anteriormente expuestos [32].

Partiendo del **nivel de presión de ruido de impactos** (L_i), el nivel de presión sonora medio de un tercio de octava en la sala receptora cuando el suelo bajo ensayo es excitado por la máquina de impactos normalizada y medido en decibelios, se calcula el **nivel de presión de ruido de impactos estandarizado** (L'_{nT}), que se define como el nivel de presión de ruido de impactos L_i reducido mediante un término corrector, como muestra la siguiente expresión:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \text{ dB}$$

T = Tiempo de reverberación en el recinto receptor, en segundos.

T_0 = Tiempo de reverberación de referencia, normalizado a 0,5 segundos.

Una vez calculado el nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, la **magnitud global para la valoración del aislamiento a ruido de impactos derivada de mediciones en bandas de tercio de octava** ($L'_{nT,w}$) se obtiene mediante el valor de la curva de referencia de la Norma 717-2:2013 a 500 Hz (véase Figura 4-28).

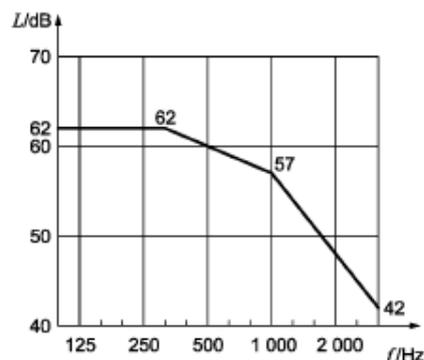


Figura 4-28. Curva de referencia para ruido de impactos, en banda de tercio de octava [35]

4.7.2 Instrumentación empleada

Para la realización de los ensayos se ha utilizado la siguiente instrumentación:

- Sonómetro integrador Bruel&Kjaer modelo 2260, nº de serie 2283397.
- Micrófono de campo libre Bruel&Kjaer modelo 4189, nº de serie 2275735.
- Calibrador acústico Bruel&Kjaer modelo 4231, nº de serie 2115494.
- Máquina de impactos Bruel&Kjaer modelo 3207.
- Software “Qualifier Type 7830 ver. 2.3”.

4.7.3 Metodología para la toma de muestras. UNE EN ISO 140-7

Las mediciones acústicas necesarias para la determinación del aislamiento a ruido de impacto del forjado ensayado se han efectuado de acuerdo a los requisitos exigidos, y con el protocolo de medida establecido en la Norma UNE-EN ISO 140-7: 1999 “Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de la construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos” [32].

La determinación del Nivel de Presión de ruido de impactos normalizado ($L'_{nT,w}$) se ha obtenido mediante el desarrollo de los siguientes pasos:

- En primer lugar, se ha obtenido el **tiempo de reverberación** de la sala receptora (T_2). Para ello, se han empleado dos posiciones de foco sonoro impulsivo y tres posiciones de micrófono para cada posición de fuente, realizando un total de seis ensayos. En todas las mediciones el sonómetro cumplió las siguientes distancias mínimas:
 - Un mínimo de 1 m del foco sonoro impulsivo.
 - Alejadas 0,5 m de las paredes laterales.
 - Un mínimo de 0,7 m entre ellas.
- En segundo lugar, se realizaron las mediciones del **nivel de ruido de impactos** en el local receptor (L_2). Para ello se indujo la aparición de un campo acústico, mediante la excitación del forjado objeto de estudio, colocando la máquina de impactos en el local emisor, tal y como se muestra en la Figura 4-29. Recaltar que la distancia de la máquina a los bordes del suelo fue siempre superior a 0,5 m.



Figura 4-29. Máquina de impactos en el despacho colindante (recinto emisor)

Para la medición del nivel de ruido de impactos en el local receptor (Figura 4-30) se llevaron a cabo diez muestreos, cada uno de ellos de 6 segundos de duración (debido a las dimensiones reducidas del local emisor, solo se tomó una posición de la fuente, por lo que fueron necesarias diez posiciones de micrófono).



Figura 4-30. Medición del nivel de ruido de impactos en el local receptor (L_2)

En este sentido, las posiciones de micrófono en el local receptor cumplieron los siguientes valores mínimos de separación:

- 0,7 m entre posiciones de micrófono.
- 0,5 m entre cualquier posición de micrófono y los límites del recinto.

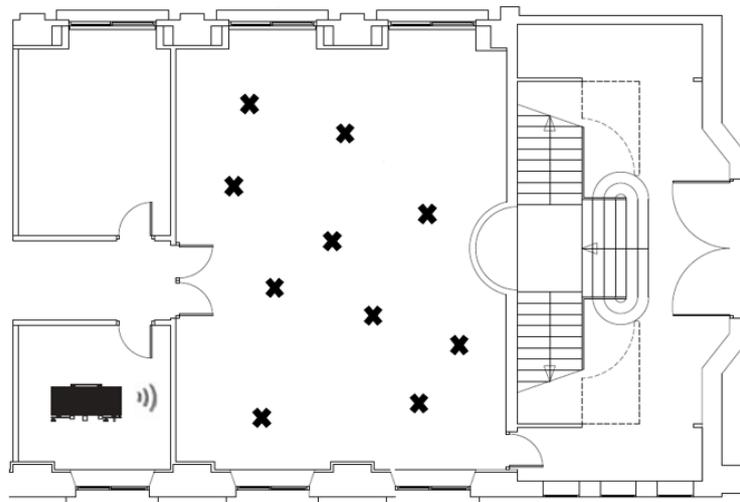


Figura 4-31. Posiciones de micrófono medición $L'_{nT,w}$

Por otra parte, pese a no observarse una dependencia temporal de los niveles de presión acústica en los momentos iniciales de funcionamiento de la máquina generadora de impactos, se han comenzado las mediciones tras la espera de un periodo de tiempo prudencial.

Para las mediciones del nivel de presión sonora se han utilizado filtros de 1/3 de octava.

- iii. Por último, se ha realizado la medición del **ruido de fondo** en la sala receptora (B_2) mediante tres nuestros en diferentes posiciones de la misma.

4.7.4 Resultados obtenidos

A continuación se reflejan los resultados obtenidos del nivel de presión de ruido de impactos normalizado (L'_{nT}) para las distintas frecuencias de tercio de octava, en forma de gráfica y tabla.

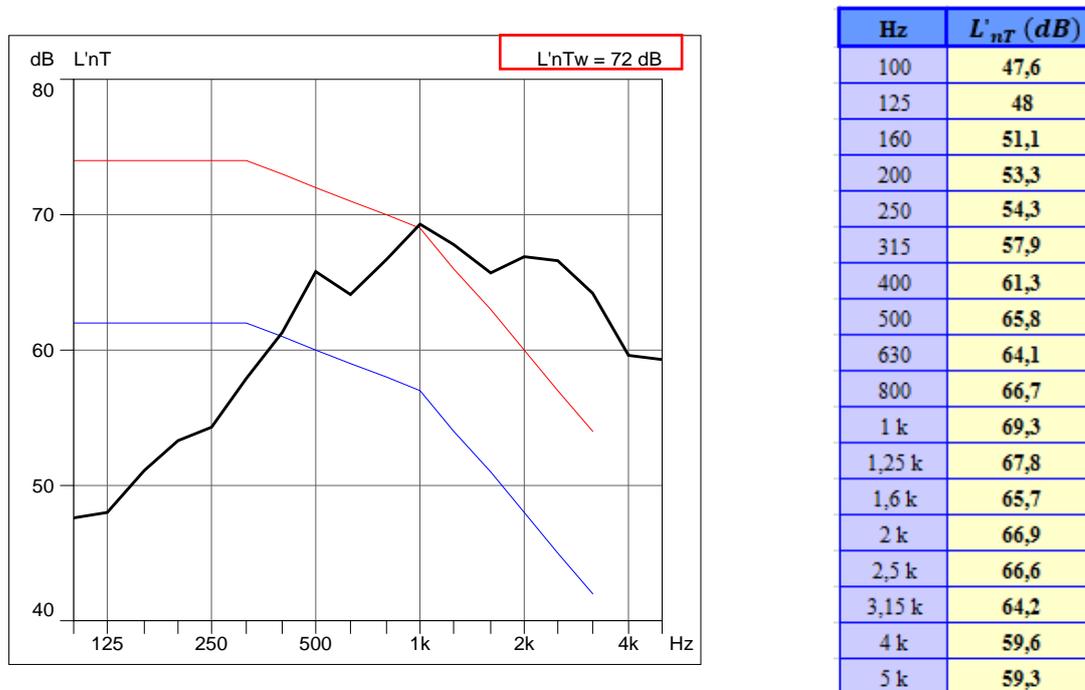


Figura 4-32. Gráfica aislamiento acústico a ruido de impactos

- i. **Nivel de presión de ruido de impactos estandarizado (L'_{nT})** para cada frecuencia:
- ii. **Valor global obtenido de aislamiento a ruido de impacto ($L'_{nT,w}$):** El valor obtenido de aislamiento a ruido de impacto entre recintos colindantes en el ensayo realizado ha sido de 72 dB. Véase la Figura 4-32.

4.8 Evaluación y medición del tiempo de reverberación

El propósito del presente subapartado es evaluar el tiempo de reverberación del Aula de Grado. De su valor depende la inteligibilidad de la palabra y además, es necesario para determinar el aislamiento acústico de un recinto.

Se ha evaluado el tiempo de reverberación de dos formas distintas, en primer lugar se ha desarrollado un cálculo predictivo del mismo (para ello se ha utilizado la ficha K.3 recogida en el DB-HR “Protección frente al ruido”), y en segundo lugar se han realizado las mediciones “in situ”.

4.8.1 Método de cálculo general del tiempo de reverberación y de la absorción acústica

Con anterioridad a los ensayos in situ se ha realizado un cálculo predictivo del tiempo de reverberación así como de la absorción acústica, tal y como se tendría que realizar a nivel de proyecto, para ello se ha utilizado el método de cálculo general [22].

Existen diversas expresiones que permiten estimar el tiempo de reverberación de un recinto, el DB-HR aplica la fórmula de Sabine:

$$Tr = \frac{0,16 \cdot V}{A}$$

Donde V representa el volumen del recinto (m^3) y A la absorción acústica total del mismo (m^2). El cálculo de la absorción acústica total del recinto se realiza a partir de una expresión que contempla tres sumandos:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{o,m,j} + 4 \cdot \bar{m}_m \cdot V$$

- $\alpha_{m,i}$ = Coeficiente de absorción acústica medio de cada parámetro, para las bandas de tercio de octava centradas en las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz.
- S_i = Área del parámetro, cuyo coeficiente de absorción es α_i (m^2).
- $A_{o,m,j}$ = Área de absorción acústica equivalente media de cada mueble fijo absorbente diferente (m^2).

Al considerarse el recinto sin mobiliario, dotado de características absorbentes, el segundo sumando se desprecia. Por otro lado, el último sumando de la expresión refleja la absorción acústica inducida por el aire del recinto, este factor sólo se utiliza para los grandes recintos y es despreciable para volúmenes menores de $250 m^3$.

A continuación se refleja la ficha que aporta el DB-HR para justificar el cumplimiento de las exigencias del tiempo de reverberación. Esta ficha no incluye el cálculo de la absorción acústica por frecuencias, simplificando el proceso mediante la obtención de la absorción acústica media de cada parámetro. No obstante, los cálculos también deben realizarse para las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz, por exigencias del DB-HR.

Tipo de recinto:..... <i>Aula vacía</i>			Volumen, V (m ³):				289
Elemento	Acabado	S Área, (m ²)	α_m Coeficiente de absorción acústica medio				Absorción acústica (m ²) $\alpha_m \cdot S$
			500	1000	2000	α_m	
Suelo	Terrazo	66,32	0,01	0,02	0,02	0,02	1,32
Techo	Techo acústico	84,03				0,60	50,41
	Paneles metálico perforado						
Paramentos	Placa de yeso laminado	66,38	0,05	0,09	0,07	0,06	3,98
	Enlucido de yeso	27,73	0,01	0,01	0,02	0,01	0,27
	Vidrio	13,14	0,05	0,04	0,03	0,04	0,52
	Madera	5,16	0,08	0,08	0,08	0,08	0,41
	Parquet	18,66	0,04	0,05	0,05	0,05	0,93
							$\Sigma = 57,87$
Objetos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, $A_{O,m}$ (m ²)				$A_{O,m} \cdot N$	
		500 1000 2000 $A_{O,m}$				-----	
Absorción aire ⁽²⁾		Coeficiente de atenuación del aire, \overline{m}_m (m ⁻¹)				$4 \cdot \overline{m}_m \cdot V$	
		500 1000 2000 \overline{m}_m					
		0,003 0,005 0,01 0,006				7,46	
A, (m ²) Absorción acústica del recinto resultante		$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{O,m,j} + 4 \cdot \overline{m}_m$				65,33	
T, (s) Tiempo de reverberación resultante		$T = \frac{0,16 \cdot V}{A} =$					
Absorción acústica resultante de la zona común		Absorción acústica exigida					
A (m ²)= []		[]		= 0,2 · V			
Tiempo de reverberación resultante		Tiempo de reverberación exigido					
T (s)= 0,69		[]		≤ 0,7			

NOTA: El catálogo de elementos constructivos permite para un techo acústico perforado escoger un coeficiente de absorción comprendido entre 0,6 a 0,9 m².

En función de los resultados anteriores, un proyecto constructivo con los acabados como los existentes en el recinto cumpliría con las exigencias establecidas por el CTE, obteniendo un tiempo de reverberación menor de 0,7 s. Dicho recinto se encuadra dentro de la normativa como un aula sin ocupación y sin mobiliario, con un volumen menor a 350 m².

4.8.2 Evaluación “in situ” del tiempo de reverberación

Como se ha mencionado anteriormente, también se ha evaluado el tiempo de reverberación realizando un ensayo “in situ” en el Aula de Grado tal y como recoge la norma UNE-EN ISO 3382-2.

4.8.2.1 Parámetro acústico

Antes de describir el proceso llevado a cabo para la medición del tiempo de reverberación, se va a definir el parámetro acústico recogido.

Tal y como se ha definido anteriormente en la presente memoria, se define el tiempo de reverberación como la duración requerida para que la densidad de la energía acústica media en un recinto decrezca en 60 dB una vez que la emisión de la fuente ha cesado [26].

4.8.2.2 Instrumentación empleada

- Sonómetro integrador Brüel&Kjær modelo 2260, nº de serie 2283397.
- Fuente sonora impulsiva (globo de aire).

4.8.2.3 Metodología para la toma de muestras. UNE EN ISO 3382-2

Con anterioridad a los ensayos “in situ” se ha realizado un estudio de la norma UNE-EN ISO 3382-2, en base a la cual, se ha garantizado la calidad de las medidas tomadas así como una correcta ejecución del procedimiento. Dicha norma define dos rangos de evaluación diferentes, 20 dB y 30 dB. Se ha otorgado preferencia al rango de evaluación de 20 dB (configurando nuestro sonómetro para ello, véase la Figura 4-33), de esta forma la relación señal/ruido no ha representado un problema en las mediciones [26].

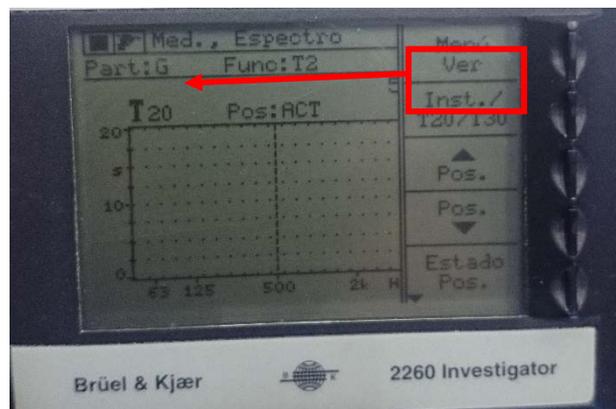


Figura 4-33. Configuración del sonómetro a 20 dB

La normativa vigente especifica tres niveles de exactitud para las mediciones: control, ingeniería y precisión. El método de control es adecuado para evaluar la capacidad de absorción de un recinto cuando se tiene como finalidad el control del ruido y para medir el aislamiento a ruido de impactos y ruido aéreo. Las mediciones de control se realizan únicamente en bandas de octava. El método de precisión, es utilizado cuando se requiere una alta precisión en la medida. La precisión nominal se supone superior al 2,5 % en bandas de octava y superior al 5% en bandas de un tercio de octava. Y por último, el método de ingeniería, ha sido seleccionado este método porque es el adecuado para verificar

el comportamiento de los edificios con respecto a las especificaciones del tiempo de reverberación o de la absorción del recinto.

Con este método se debe realizar al menos 6 combinaciones de fuente-micrófono, con un mínimo de 2 posiciones tanto de la fuente como del micrófono, véase la Tabla 4-5.

	Control	Ingeniería	Precisión
Combinaciones fuente-micrófono	2	6	12
Posiciones de la fuente	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Posiciones de micrófono	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Número de decrecimientos en cada posición (método del ruido interrumpido)	1	2	3

Tabla 4-5. Número mínimo de posiciones y mediciones [25]

En cuanto al procedimiento de medición, según la presente norma, se describen dos métodos para medir el tiempo de reverberación; el método del ruido interrumpido y el método de la respuesta impulsiva integrada; este último ha sido el seleccionado para llevar a cabo los ensayos. Utilizándose un intervalo de frecuencias en bandas de tercio de octava, de 100 Hz a 5000 Hz.

A la hora de elegir una fuente que cumpliera las exigencias requeridas para excitar el recinto a través de una respuesta impulsiva integrada, se tomó en consideración lo siguiente:

- La fuente no sea en sí misma reverberante.
- La fuente impulsiva debe ser capaz de producir un nivel de presión acústica lo suficientemente elevado como para garantizar un curva de decrecimiento empezando al menos 35 dB por encima del ruido de fondo.

Teniendo presente las condiciones anteriormente expuestas y tras la realización de varias pruebas antes de la ejecución de los ensayos definitivos, se ha tomado como fuente globos inflados con aire.

En el ensayo realizado para el presente trabajo se tomaron 3 posiciones de micrófono para cada posición de fuente y 2 posiciones de fuente, cumpliendo así con los mínimos exigidos.



Figura 4-34. Sonómetro y fuente sonora impulsiva

En los muestreos sonoros realizados se recogieron registros en posiciones de micrófono con una distancia mínima de 2 m entre sí. Respecto a la distancia entre el micrófono y el suelo y paredes, se ha respetado una distancia mínima de 1 m. En todas las medidas se ha evitado las posiciones simétricas.

En la siguiente Figura 4-35 se muestra las distintas posiciones micrófono-fuente sonora impulsiva.

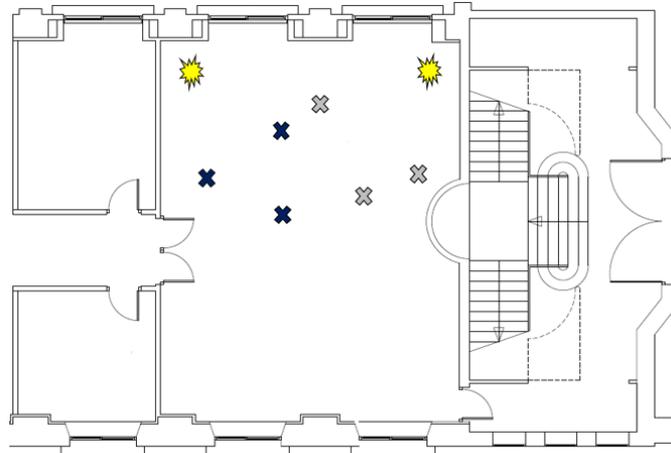
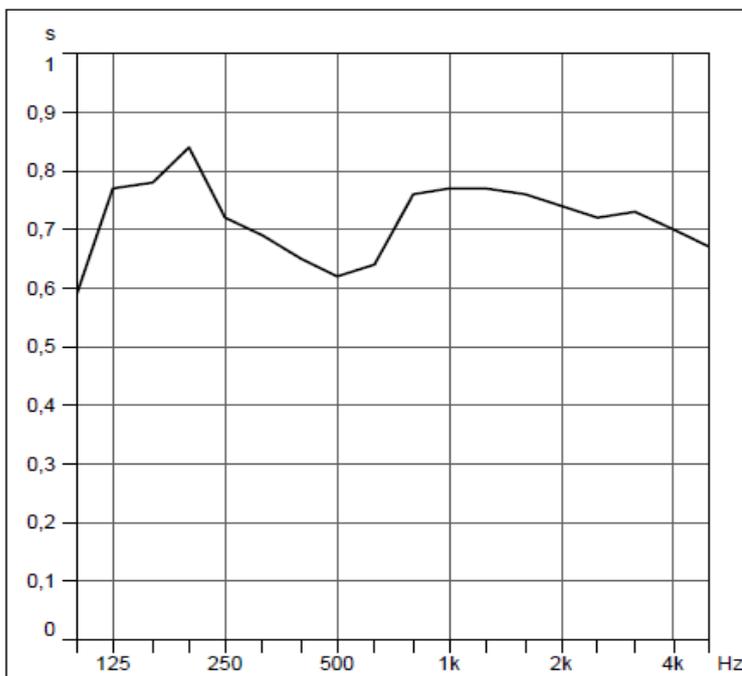


Figura 4-35. Posiciones micrófono-fuente

4.8.2.3.1 Resultados obtenidos

A continuación se reflejan los valores del tiempo de reverberación para cada frecuencia. El valor obtenido del tiempo de reverberación medio en el ensayo realizado ha sido $Tr = 0,67$ s, como se muestra en la Figura 4-36.



Hz	Tr
100	0,59
125	0,77
160	0,78
200	0,84
250	0,72
315	0,69
400	0,65
500	0,62
630	0,64
800	0,76
1 k	0,77
1,25 k	0,77
1,6 k	0,76
2 k	0,74
2,5 k	0,72
3,15 k	0,73
4 k	0,70
5 k	0,67

Figura 4-36. Gráfica del tiempo de reverberación

4.9 Obtención y diagnóstico de los resultados de los ensayos in situ mediante el software acústico Qualifier Type 7830 de Brüel Kjaer

Tras la realización de los ensayos "in situ" se ha volcado la información recogida por el sonómetro al ordenador, para ello se ha utilizado el software Qualifier 7830. La Figura 4-37 muestra un esquema de los equipos de medida necesarios para obtener los resultados que permitan la redacción de un informe técnico por parte de una ingeniería acústica [30].

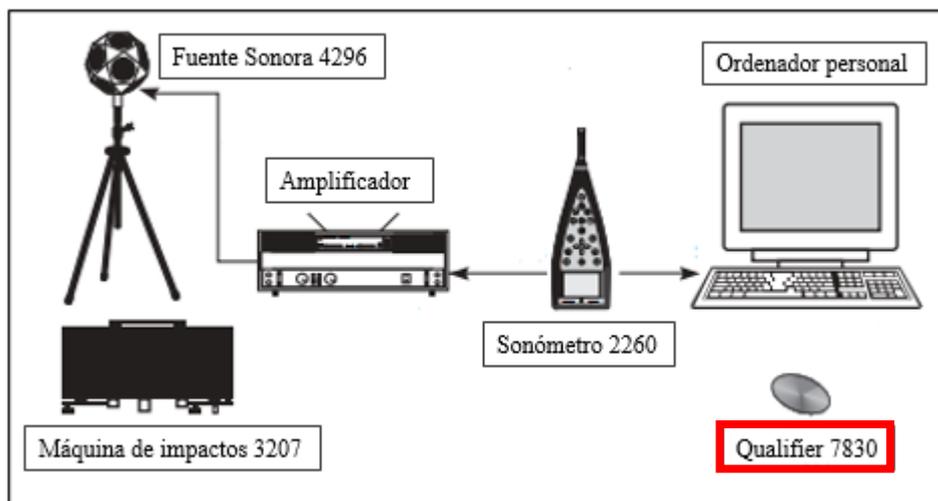


Figura 4-37. Esquema de las fuentes de sonido [30]

A través de la pantalla, el equipo de medida es capaz de proporcionar los resultados de los ensayos una vez estos han sido realizados, sin embargo, de cara a presentar un informe de ingeniería, es necesario aportar los registros generados por el Qualifier 7830.

Además de permitir el intercambio de información entre sonómetro-ordenador, el Qualifier 7830 es capaz de post-procesar y documentar los resultados obtenidos, permitiendo visualizar estos inmediatamente.

A continuación se describen los pasos que se han llevado a cabo para obtener los resultados, para ello, en primer lugar se mostrará cómo se ha realizado la conexión del sonómetro al ordenador y finalmente el post procesado de los datos.

- i. En primer lugar, fue necesario conectar el sonómetro al ordenador (el modelo 2260 incorpora para ello un puerto USB). A continuación, se configura dicha conexión, tal y como refleja la Figura 4-38.

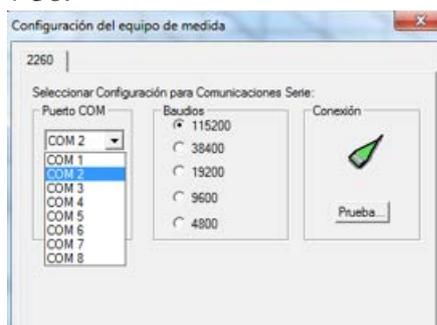


Figura 4-38. Configuración del equipo de medida para conexión al ordenador

- ii. Una vez realizada la conexión, el programa Qualifier accede a la información almacenada por el sonómetro, mostrándonos todas las medidas realizadas durante el ensayo, así como los correspondientes cálculos e informes (Figura 4-39).

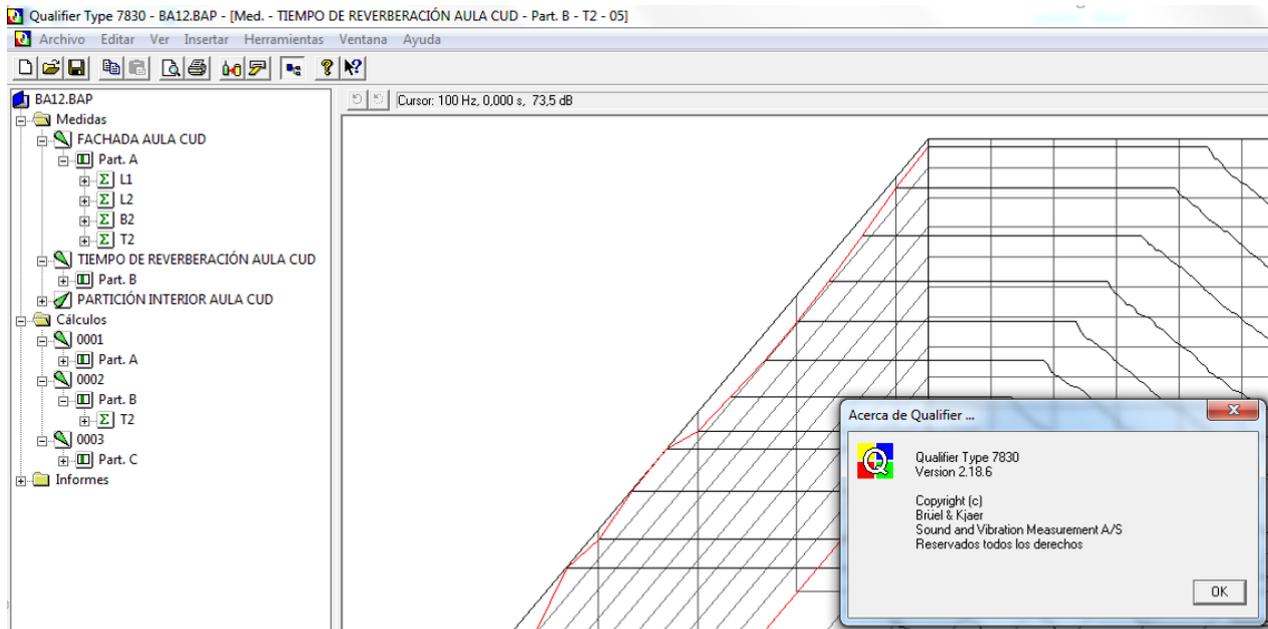


Figura 4-39. Vista general del software Qualifier

- iii. Una vez volcados los datos se puede comprobar la configuración que se ejecutó en el equipo de medida previo a cada ensayo. En la Figura 4-40 se muestra una captura de pantalla del software que refleja las propiedades de trabajo establecidas durante la realización de los ensayos de aislamiento al ruido de fachadas.

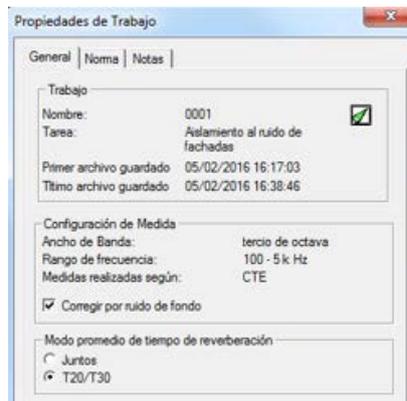


Figura 4-40. Comprobación de las propiedades de trabajo

- iv. Por último, el Qualifier permite obtener las gráficas que se necesitan adjuntar a cualquier informe de ingeniería acústica. La Figura 4-41 muestra una captura de pantalla de la gráfica de aislamiento de la fachada del Aula.

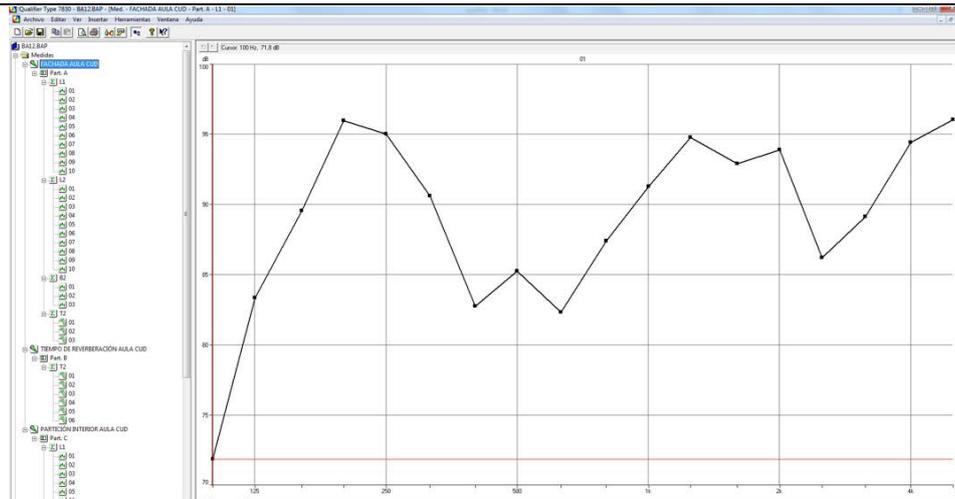


Figura 4-41. Gráfica aislamiento acústico a ruido aéreo de la fachada del Aula

4.10 Resumen de resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados y los valores exigidos por la normativa en el DB-HR del CTE. En la Tabla 4-6 se refleja dicha información a modo de comparativa.

Tipo de ensayo	Localización	Valores obtenidos	Valores normativos exigidos DB-HR del CTE	Cumplimiento
Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos colindantes horizontalmente	Aula de Grado Despacho	$D_{nT,A} = 43 \text{ dBA}$	$D_{nT,A} \geq 50 \text{ dBA}$	No cumple
Aislamiento acústico a ruido aéreo de fachadas	Aula de Grado	$D_{2m,nT,Atr} = 36 \text{ dBA}$	$D_{2m,nT,Atr} \geq 30 \text{ dBA}$	Cumple
Nivel de ruido de impacto entre recintos	Aula de Grado Despacho	$L'_{nTw} = 72 \text{ dB}$	$L'_{nTw} \leq 65 \text{ dB}$	No cumple
Tiempo de reverberación	Aula de Grado	$T_{20} = 0,67 \text{ seg}$	0,7 seg (valor máximo)	Cumple

Tabla 4-6. Resumen de los resultados

Conviene indicar que, para el cumplimiento de las exigencias, el DB-HR Protección frente al ruido admite tolerancias entre los valores obtenidos por mediciones “in situ” y los valores límites establecidos para proyecto (Tabla 3-2), de 3 dBA para el aislamiento a ruido aéreo, de 3 dB para aislamiento a ruido de impacto y de 0,1 s para tiempo de reverberación.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

La calidad acústica de aquellos recintos destinados a la oratoria resulta fundamental para lograr una correcta transmisión de los mensajes así como para favorecer la inteligibilidad de las palabras.

Dicha calidad acústica se relaciona con los conceptos de acondicionamiento y aislamiento. De esta forma, el parámetro fundamental para determinar el acondicionamiento interior de un recinto es el tiempo de reverberación. Al mismo tiempo, también deben conseguirse adecuados aislamientos acústicos a ruido aéreo y a ruido de impacto. Estos aislamientos deben cumplirse tanto entre recintos adyacentes como entre recintos respecto al exterior.

En este sentido, el marco normativo regulador de las condiciones acústicas, Documento Básico “DB-HR protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación (CTE), establece la necesidad de conseguir y justificar unas determinadas exigencias para los conceptos anteriores en la etapa de proyecto en recintos de uso docente (aulas y salas de conferencia); además de indicar la posibilidad de verificación “in situ” del cumplimiento de los requisitos establecidos, cuando lo establezcan las administraciones competentes, una vez finalizada la obra constructiva.

En este contexto, el presente trabajo ha evaluado mediante ensayos “in situ”, las condiciones acústicas del Aula de Grado del Centro Universitario de la Defensa (CUD) de la Escuela Naval Militar, siguiendo las normas correspondientes 8UNE-EN ISO 16283-1, UNE-EN ISO 140-4, UNE-EN ISO 140-5 y UNE-EN ISO 3382).

Los resultados obtenidos reflejan como el Aula de Grado cumpliría las exigencias acústicas que actualmente exige la normativa para recintos de nueva construcción (o rehabilitación integral) tanto para el tiempo de reverberación (propiciado por la instalación del techo acústico) como para el aislamiento de fachada. Estos dos parámetros se consideran los factores principales para conseguir un uso óptimo del recinto.

Por otra parte, la evaluación desarrollada permite indicar que no se cumplen las exigencias normativas de aislamiento a ruido aéreo ni de nivel de ruido de impacto en relación con el recinto colindante (despacho definido como recinto emisor). Esto se debe principalmente (como cabría esperar) a la ausencia de suelo flotante independiente entre ambos recintos, el cual no fue ejecutado durante la etapa de reforma del edificio, y a las características del elemento separador. No obstante, estas exigencias no se consideran decisivas para el caso concreto objeto de estudio.

Por tanto, en función de los condicionantes indicados, puede concluirse que la calidad acústica del Aula de Grado es adecuada para el uso al que está destinada.

5.2 Líneas futuras

Como posibles líneas futuras se recomienda abordar el estudio de las condiciones acústicas de otros recintos dentro de la Escuela Naval Militar que, debido a su uso, debieran de poseer unas determinadas condiciones acústicas de aislamiento y acondicionamiento; y, por tanto, son candidatos al desarrollo de dicha evaluación.

En función del aspecto a estudiar, se podrían realizar los siguientes estudios:

- i. Calidad acústica interior, relacionada con el tiempo de reverberación del recinto y la inteligibilidad de la palabra:
 - Estudio de condiciones en el comedor de alumnos, y propuestas de mejora.
 - Estudio de condiciones en el gimnasio GM Barrutia, tanto en el recinto de la piscina como en el del pabellón, y propuestas de mejora.
- ii. Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos, con el objeto de conseguir el ambiente adecuado para el estudio y el descanso de los alumnos:
 - Estudio de condiciones de aislamiento entre camareras de los cuarteles de alumnos, y propuestas de mejora en caso necesario.

A mayores, una vez finalizado el presente trabajo se ha tomado conciencia del papel tan importante que tiene la acústica dentro de los buques de la Armada Española. Siendo fundamental unos niveles mínimos de aislamiento entre camarotes adyacentes o entre las cámaras de máquinas y los compartimentos que la rodean. Por tanto, se recomienda realizar estudios de las condiciones acústicas de los distintos buques de la Armada.

6 BIBLIOGRAFÍA

En esta sección figuran todas las referencias, incluyendo la información de autores, título de la obra o recursos web consultados, nombre de la publicación, año, edición y fecha del último acceso en el caso de referencias a recursos online.

- [1] «Código Técnico de la Edificación,» 2014.
- [2] Santiago García Gago, «Manual para radialistas,» [En línea]. Available: <http://www.analfatecnicos.net/archivos/28.PerspectivaHistoricaDeLaAcustica.pdf>. [Último acceso: 19 Enero 2016].
- [3] «Guía de Grecia,» [En línea]. Available: <http://www.guiadegrecia.com/general/teatro.html>. [Último acceso: 19 Enero 2016].
- [4] María del Carmen Perez Royo, «Cultura clásica,» [En línea]. Available: http://www.culturaclasica.com/literatura/teatro_romano.htm. [Último acceso: 19 Enero 2016].
- [5] Glosario de Términos Acústicos, Sociedad Española de Acústica, 2012.
- [6] Rodríguez Rodríguez, Francisco Javier; de la Puente Crespo, Javier; Díaz Sanchidrián, César, «Guía de acústica de la construcción», Madrid: Cie Inversiones Editoriales Dossat 2000, S. L., 2008.
- [7] *UNE 21302-801*, 2001.
- [8] *UNE-EN ISO 3744*, 1996.
- [9] *UNE 21302-801*, 2001.
- [10] *UNE-EN 60651*, 1994.
- [11] *UNE-EN 60268-3*, 2002.
- [12] *UNE-EN 60942*, 2001.

- [13] *UNE-EN ISO 140-3*, 1995.
- [14] «Construmática,» Grupo Intercom, [En línea]. Available: <http://www.construmatica.com/construpedia/Forjados>. [Último acceso: 9 Febrero 2016].
- [15] «Panel sandwich,» [En línea]. Available: <http://panellanadero.com/>. [Último acceso: 21 Enero 2016].
- [16] *UNE-EN ISO 354*, 2004.
- [17] Luis Jure, «Enseñanza acústica,» Escuela Universitaria de Música, [En línea]. Available: <http://www.eumus.edu.uy/eme/ensenanza//acustica/>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [18] Antoni Carrión Isbert, «Diseño acústico de espacios arquitectónicos,» Ediciones UPC, [En línea]. Available: https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_08_09/io6/public_html/Paginas/reflex.html. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [19] Heinrich Kuttruff, *Acoustics*, Taylor & Francis Group, 2006.
- [20] Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement, «Ruido ambiental».
- [21] Eduardo Torroja, *Acústica de la edificación, normativa, materiales, instrumentación y control*, Madrid: Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, 2015.
- [22] «Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido,» 2014.
- [23] Higini Arau, *Acústica arquitectónica*, Madrid: CECAC, 2007.
- [24] Alex Martos, «CTE Arquitectura,» 3 Mayo 2010. [En línea]. Available: <http://www.ctearquitectura.es/cte/hola-mundo/>. [Último acceso: 8 Febrero 2016].
- [25] *El Real Decreto 1371*, 2007.
- [26] *UNE-EN ISO 3382-2*, 2008.
- [27] *UNE-EN ISO 16283-1*, 2015.
- [28] *UNE-EN ISO 140-5*, 1999.
- [29] *UNE-EN ISO 717-2*, 2013.
- [30] Kjaer, Brüel &, «Production data,» 2003. [En línea]. Available: <http://www.bksv.es>. [Último acceso: 19 Febrero 2016].
- [31] Kjaer, Brüel &, «Brüel & Kjaer,» [En línea]. Available: http://www.midebien.com/PDF/Bruel_Kjaer/Calibradores/hoja-datos-calibrador-sonido-4231.pdf. [Último acceso: 19 Febrero 2016].
- [32] *UNE-EN ISO 140-7*, 1999.
- [33] *UNE-EN ISO 3744*, 1996.
- [34] «Conceptos básicos del ruido ambiental,» [En línea]. Available: http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/contaminacion_acustica_tcm7-1705.pdf. [Último acceso: 4 Febrero 2016].

- [35] «Soluciones de aislamiento acústico,» 2009. [En línea]. Available: www.andimat.es. [Último acceso: 5 Febrero 2016].
- [36] *UNE-EN ISO 717-2*, 2013.

ANEXO I: LISTADO DE CÁLCULOS

Fecha de la medida: 05/02/2016 16:34:22

Aislamiento a ruido aéreo

Cálculos según: CTE

T0: 0,50 s.

Resultado(s) Global(es):

DnTw = 44 dB

DnTw+C = 43 dB

DnTw+Ctr = 40 dB

DnTw+C50-3150 = N/D

DnTw+C50-5000 = N/D

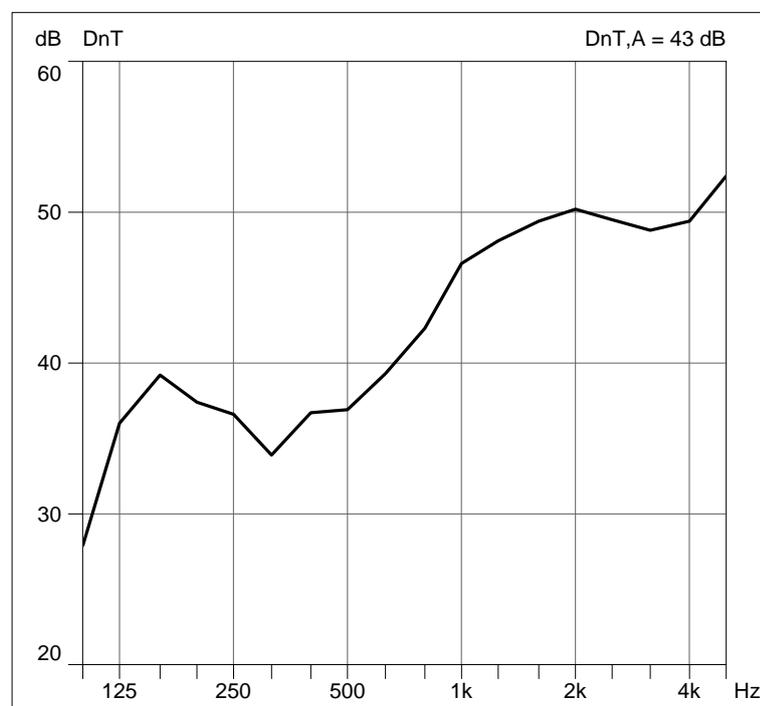
DnTw+C100-5000 = 43 dB

DnTw+Ctr50-3150 = N/D

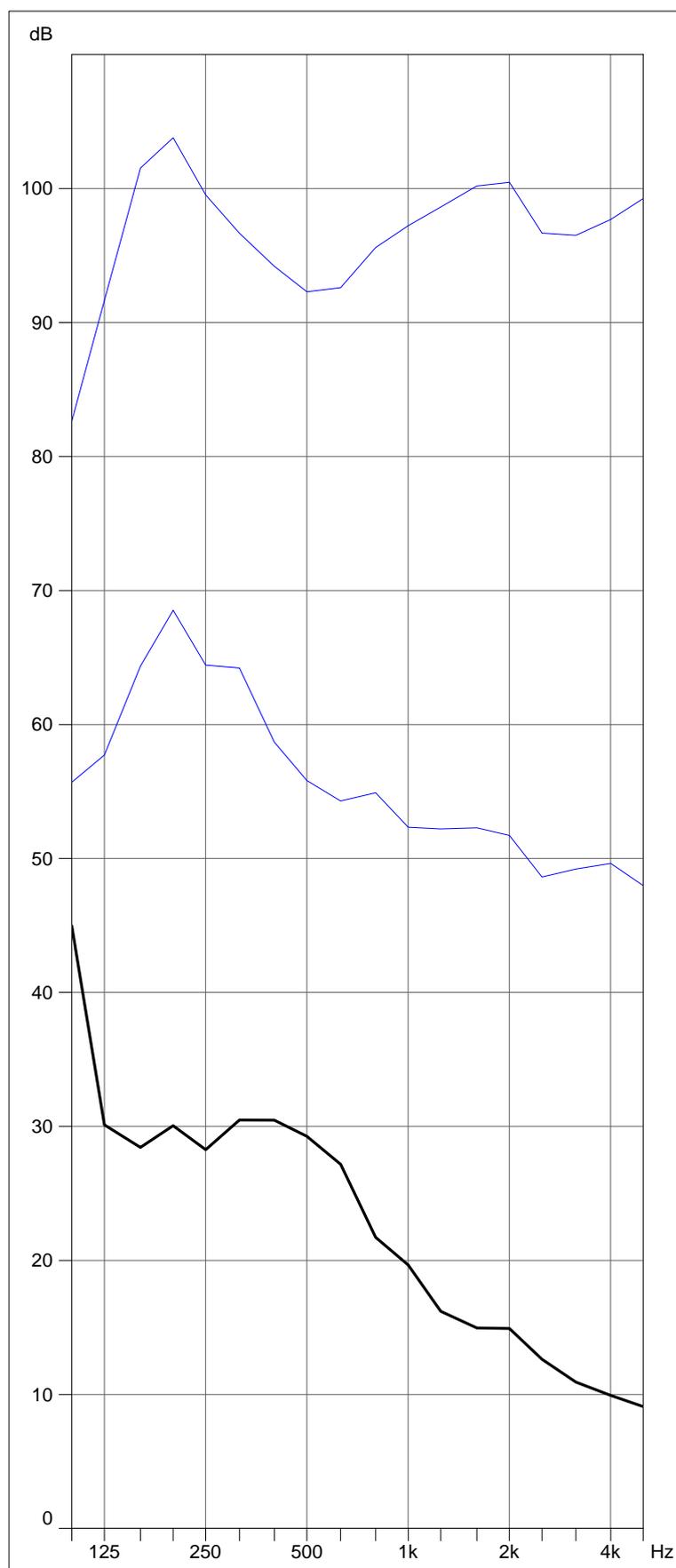
DnTw+Ctr50-5000 = N/D

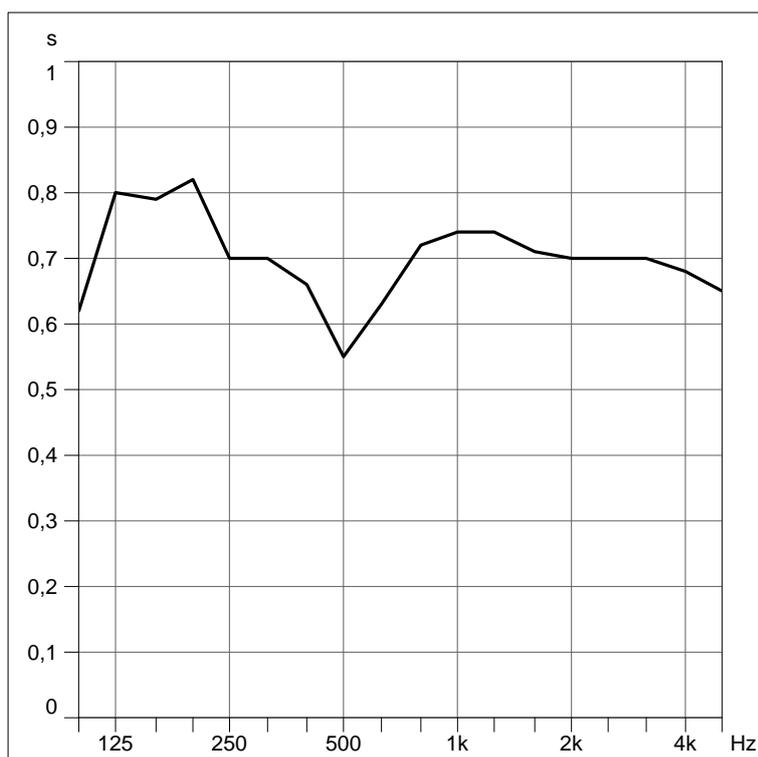
DnTw+Ctr100-5000 = 40 dB

DnT,A = 43 dB



Part. C Resultados

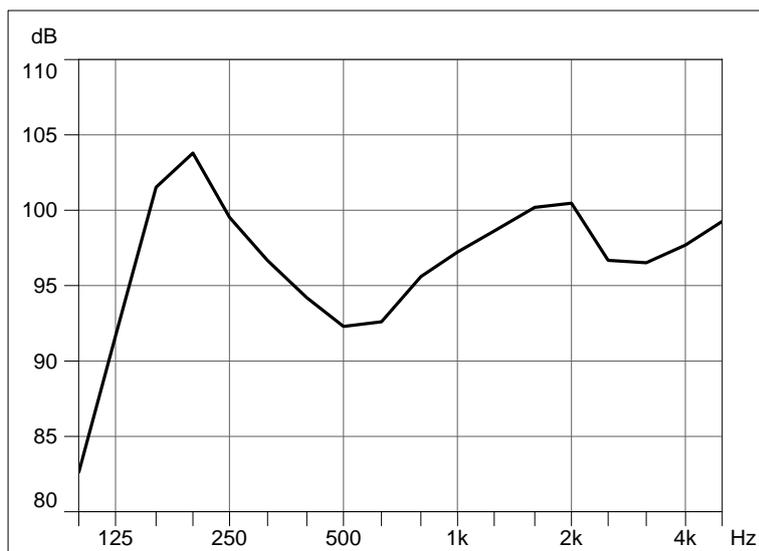
**Part. C Niveles de Sonido**



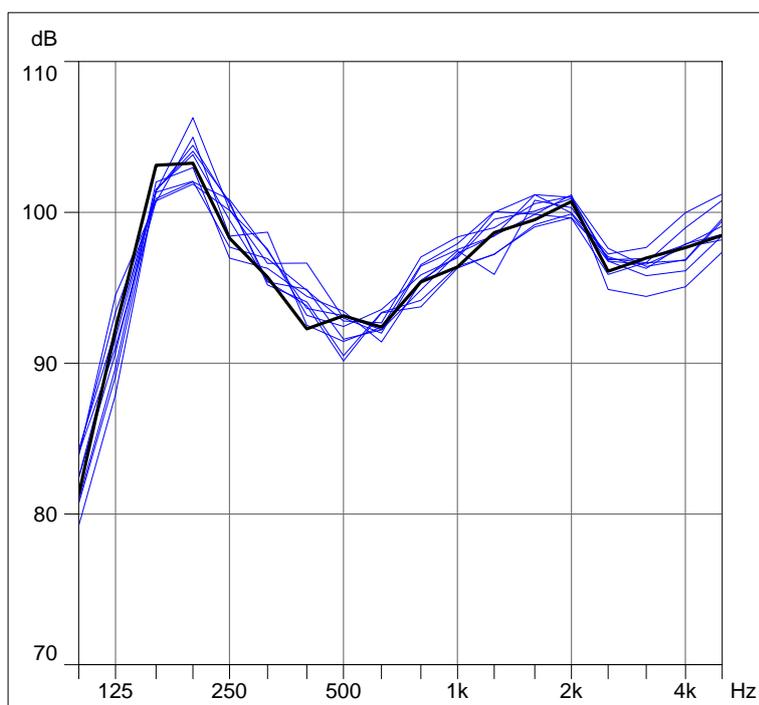
Part. C Reverberación

Part. C Resultados:

[Hz]	L1A[dB]	L2A[dB]	B2A[dB]	T2A[s]	DnT[dB]
100	82,6	55,7	45,0	0,62	27,9
125	91,7	57,7	30,1	0,80	36,0
160	101,5	64,4	28,4	0,79	39,2
200	103,8	68,5	30,1	0,82	37,4
250	99,5	64,4	28,3	0,70	36,6
315	96,7	64,2	30,5	0,70	33,9
400	94,2	58,7	30,5	0,66	36,7
500	92,3	55,8	29,3	0,55	36,9
630	92,6	54,3	27,2	0,63	39,3
800	95,6	54,9	21,7	0,72	42,3
1 k	97,2	52,3	19,7	0,74	46,6
1,25 k	98,6	52,2	16,2	0,74	48,1
1,6 k	100,2	52,3	15,0	0,71	49,4
2 k	100,5	51,7	14,9	0,70	50,2
2,5 k	96,7	48,6	12,6	0,70	49,5
3,15 k	96,5	49,2	10,9	0,70	48,8
4 k	97,7	49,6	9,9	0,68	49,4
5 k	99,3	48,0	9,1	0,65	52,4



L1 Promedio

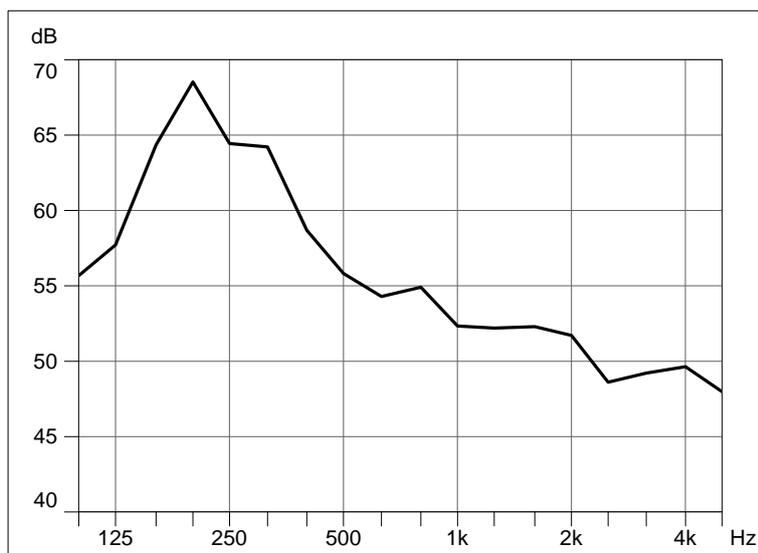


L1 Posiciones

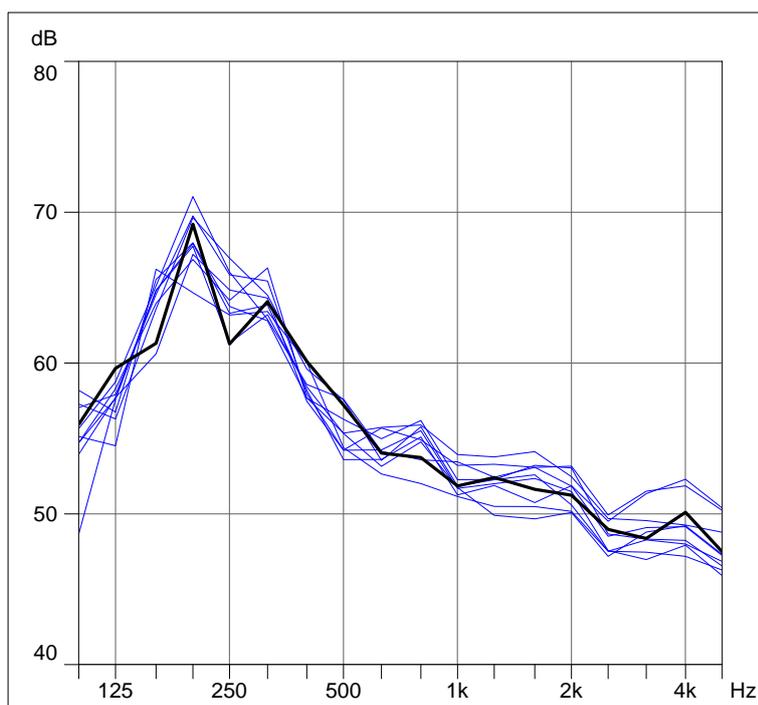
L1 Posiciones:

[Hz]	01[dB]	02[dB]	03[dB]	04[dB]	05[dB]	06[dB]	07[dB]	08[dB]
	09[dB]	10[dB]	Prm.[dB]	Desv.Est.				
100	84,3	82,5	79,2	80,7	82,4	80,9	84,0	83,9
125	84,1	81,3	82,6	1,67	90,7	89,7	91,1	94,5
160	92,2	91,7	87,9	89,1	90,7	89,7	91,1	94,5
200	93,4	92,3	91,7	1,92	101,5	102,0	100,8	100,7
250	101,4	101,3	101,5	101,4	101,5	102,0	100,8	100,7
315	100,9	103,1	101,5	0,66	103,8	103,0	101,9	105,0
	106,3	102,1	104,1	104,4	103,8	103,0	101,9	105,0
	102,0	103,3	103,8	1,37	99,5	97,0	100,1	98,4
	100,2	97,7	100,7	100,6	99,5	97,0	100,1	98,4
	100,8	98,3	99,5	1,33	95,4	96,3	97,6	98,7
	96,6	96,9	95,2	95,4	95,4	96,3	97,6	98,7
	97,5	95,7	96,7	1,09				

400	96,6	94,8	94,1	93,8	94,9	94,4	93,2	92,5
	93,6	92,3	94,2	1,22				
500	93,0	92,8	90,5	90,1	91,6	93,4	92,4	91,4
	93,2	93,1	92,3	1,12				
630	92,0	92,7	93,4	93,3	92,2	91,4	93,6	92,4
	92,2	92,4	92,6	0,65				
800	96,4	97,0	94,2	93,7	94,8	95,4	95,9	96,5
	95,5	95,4	95,6	0,99				
1 k	97,5	98,4	96,4	96,3	97,3	97,5	97,0	97,9
	97,1	96,4	97,2	0,65				
1,25 k	98,4	99,0	97,2	97,2	98,4	95,9	99,5	100,1
	100,0	98,7	98,6	1,28				
1,6 k	99,9	100,6	99,2	99,0	101,2	100,8	100,1	99,9
	101,2	99,5	100,2	0,73				
2 k	101,2	101,1	99,9	99,7	101,0	100,3	100,9	99,6
	100,0	100,7	100,5	0,57				
2,5 k	94,9	97,6	96,8	97,1	96,9	96,9	96,8	95,9
	97,2	96,1	96,7	0,75				
3,15 k	94,4	96,4	96,6	96,3	96,9	96,7	95,8	96,7
	97,7	97,0	96,5	0,81				
4 k	95,1	96,9	97,7	97,9	97,9	96,8	96,1	99,0
	100,0	97,7	97,7	1,33				
5 k	97,4	99,6	98,2	98,5	99,1	99,4	98,5	100,8
	101,2	98,5	99,3	1,13				



L2 Promedio

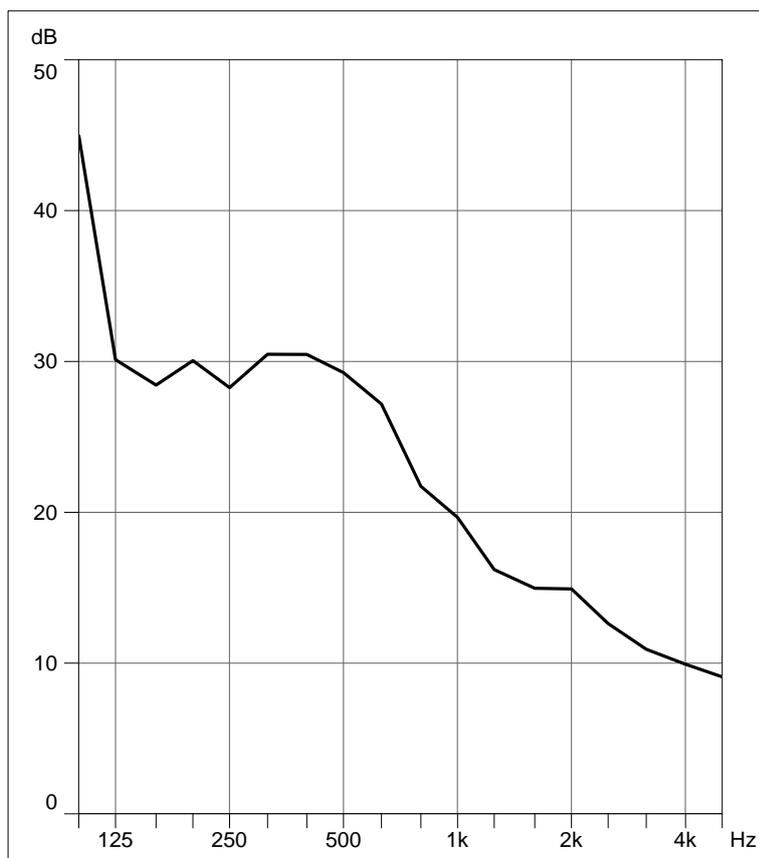


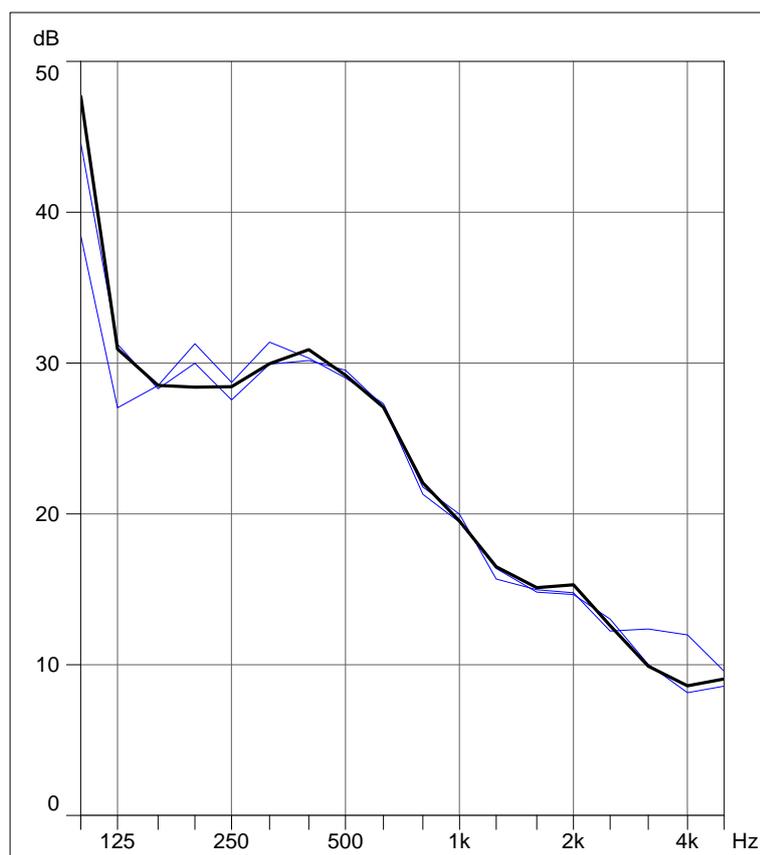
L2 Posiciones

L2 Posiciones:

[Hz]	01[dB] 09[dB]	02[dB] 10[dB]	03[dB] Prm.[dB]	04[dB] Desv.Est.	05[dB]	06[dB]	07[dB]	08[dB]
100	58,2	54,7	54,0	57,3	55,7	48,7	54,7	55,1
125	57,0	55,9	55,7	2,54	58,8	57,6	57,7	54,5
160	56,8	58,3	57,7	56,3	58,8	57,6	57,7	54,5
200	57,9	59,7	57,7	1,35	65,1	64,8	64,8	66,2
250	65,5	64,0	60,6	63,6	65,1	64,8	64,8	66,2
315	64,6	61,3	64,4	1,73	71,0	67,9	67,7	64,7
400	68,0	66,9	67,2	69,6	71,0	67,9	67,7	64,7
500	69,8	69,2	68,5	1,73	66,0	63,3	61,3	63,2
630	63,8	64,2	64,8	67,0	66,0	63,3	61,3	63,2
800	65,9	61,3	64,4	1,84	62,9	63,8	63,2	63,4
1 k	62,8	66,3	64,3	64,5	62,9	63,8	63,2	63,4
1,25 k	65,4	64,1	64,2	1,07	58,6	58,2	58,4	60,0
1,6 k	57,7	57,7	57,5	59,6	58,6	58,2	58,4	60,0
2 k	58,0	60,1	58,7	0,95	57,6	53,6	55,3	54,4
2,5 k	55,4	56,3	54,2	57,6	57,6	53,6	55,3	54,4
3,15 k	54,2	57,2	55,8	1,44	54,1	53,6	53,2	52,6
4 k	55,7	55,0	54,2	53,5	54,1	53,6	53,2	52,6
5 k	55,7	54,0	54,3	0,98	53,6	55,1	54,8	52,0
6,3 k	55,9	56,2	55,5	55,8	53,6	55,1	54,8	52,0
8 k	54,9	53,7	54,9	1,23	53,4	51,3	51,7	51,2
10 k	53,9	52,3	51,7	51,8	53,4	51,3	51,7	51,2
12,5 k	53,2	51,8	52,3	0,91	52,4	51,9	49,9	50,5
16 k	53,8	52,3	52,0	52,3	52,4	51,9	49,9	50,5
20 k	53,3	52,4	52,2	1,09	53,1	50,7	49,7	50,5
25 k	54,1	53,2	52,3	52,6	53,1	50,7	49,7	50,5
31,5 k	53,1	51,6	52,3	1,36	53,2	51,9	50,1	50,2
40 k	52,5	53,0	51,5	50,6	53,2	51,9	50,1	50,2
50 k	51,8	51,2	51,7	1,05	49,9	49,5	47,2	47,5
63 k	49,7	48,7	47,6	47,5	49,9	49,5	47,2	47,5
80 k	48,5	49,0	48,6	0,96	51,5	51,3	48,8	47,5
100 k	49,6	48,3	47,0	48,3	51,5	51,3	48,8	47,5
125 k	49,1	48,4	49,2	1,43	51,9	52,3	49,2	47,2
160 k	49,3	48,2	47,9	48,0	51,9	52,3	49,2	47,2

	49,2	50,1	49,6	1,62				
5 k	48,8	46,5	45,9	46,8	50,2	50,4	47,3	46,3
	47,2	47,5	48,0	1,52				

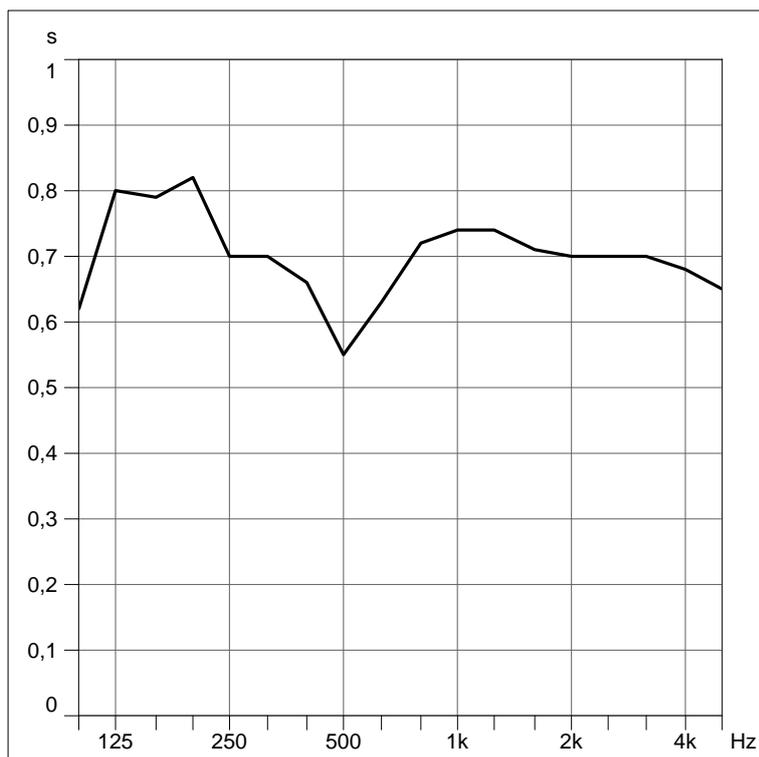
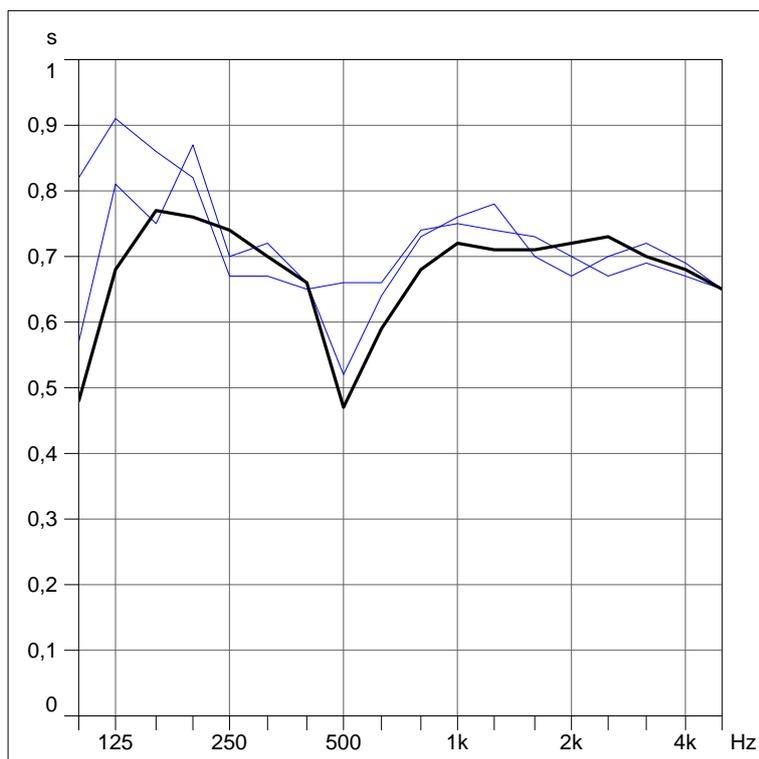
**B2 Promedio**



B2 Posiciones

B2 Posiciones:

[Hz]	01[dB]	02[dB]	03[dB]	Prm.[dB]	Desv.Est.
100	38,4	44,6	47,7	45,0	4,08
125	27,0	31,2	30,9	30,1	1,95
160	28,5	28,3	28,5	28,4	0,10
200	31,3	30,0	28,4	30,1	1,18
250	28,7	27,6	28,4	28,3	0,49
315	31,4	29,9	30,0	30,5	0,68
400	30,3	30,2	30,9	30,5	0,30
500	29,0	29,5	29,2	29,3	0,21
630	27,3	27,1	27,1	27,2	0,09
800	21,8	21,3	22,1	21,7	0,30
1 k	20,0	19,4	19,5	19,7	0,23
1,25 k	15,7	16,4	16,5	16,2	0,36
1,6 k	15,0	14,8	15,1	15,0	0,11
2 k	14,8	14,7	15,3	14,9	0,27
2,5 k	12,2	13,0	12,6	12,6	0,32
3,15 k	12,4	10,0	9,9	10,9	1,14
4 k	12,0	8,1	8,6	9,9	1,74
5 k	9,6	8,6	9,1	9,1	0,40

**T2 Promedio****T2 Posiciones****T2 Posiciones:**

[Hz]	01[s]	02[s]	03[s]	Prm.[s]	Desv.Est.
100	0,82	0,57	0,48	0,62	0,14
125	0,91	0,81	0,68	0,80	0,09
160	0,86	0,75	0,77	0,79	0,04
200	0,82	0,87	0,76	0,82	0,04
250	0,67	0,70	0,74	0,70	0,02

315	0,67	0,72	0,70	0,70	0,02
400	0,65	0,66	0,66	0,66	0,00
500	0,66	0,52	0,47	0,55	0,08
630	0,66	0,64	0,59	0,63	0,02
800	0,74	0,73	0,68	0,72	0,02
1 k	0,75	0,76	0,72	0,74	0,01
1,25 k	0,74	0,78	0,71	0,74	0,02
1,6 k	0,73	0,70	0,71	0,71	0,01
2 k	0,70	0,67	0,72	0,70	0,02
2,5 k	0,67	0,70	0,73	0,70	0,02
3,15 k	0,69	0,72	0,70	0,70	0,01
4 k	0,67	0,69	0,68	0,68	0,00
5 k	0,65	0,65	0,65	0,65	0,00

Técnico/Operario: Fecha de la medida: 05/02/2016 16:17:03

Aislamiento de ruido en fachada

Cálculos según: CTE

T0: 0,50 s.

Resultado(s) Global(es):

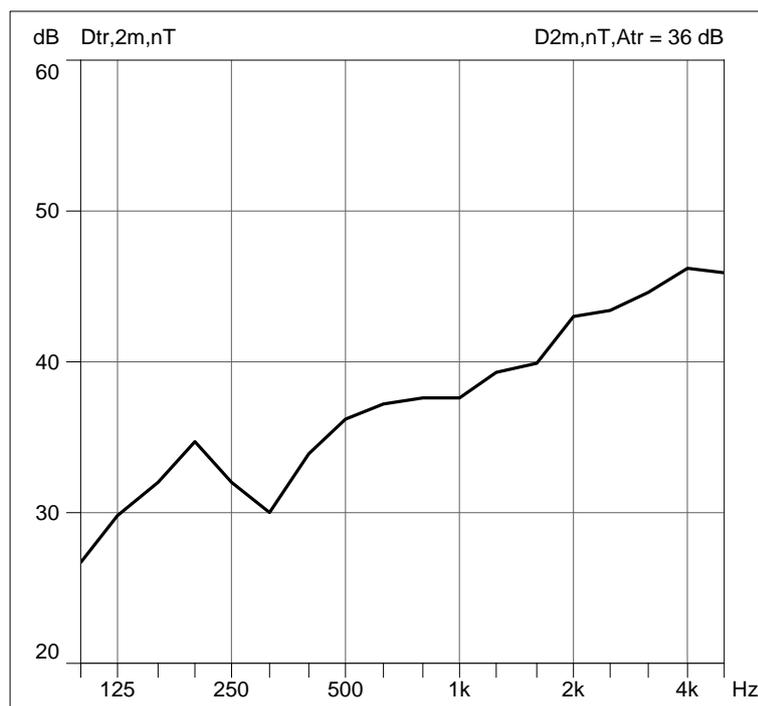
Dtr,2m,nT,w = 39 dB

Dtr,2m,nT,w+C = 38 dB

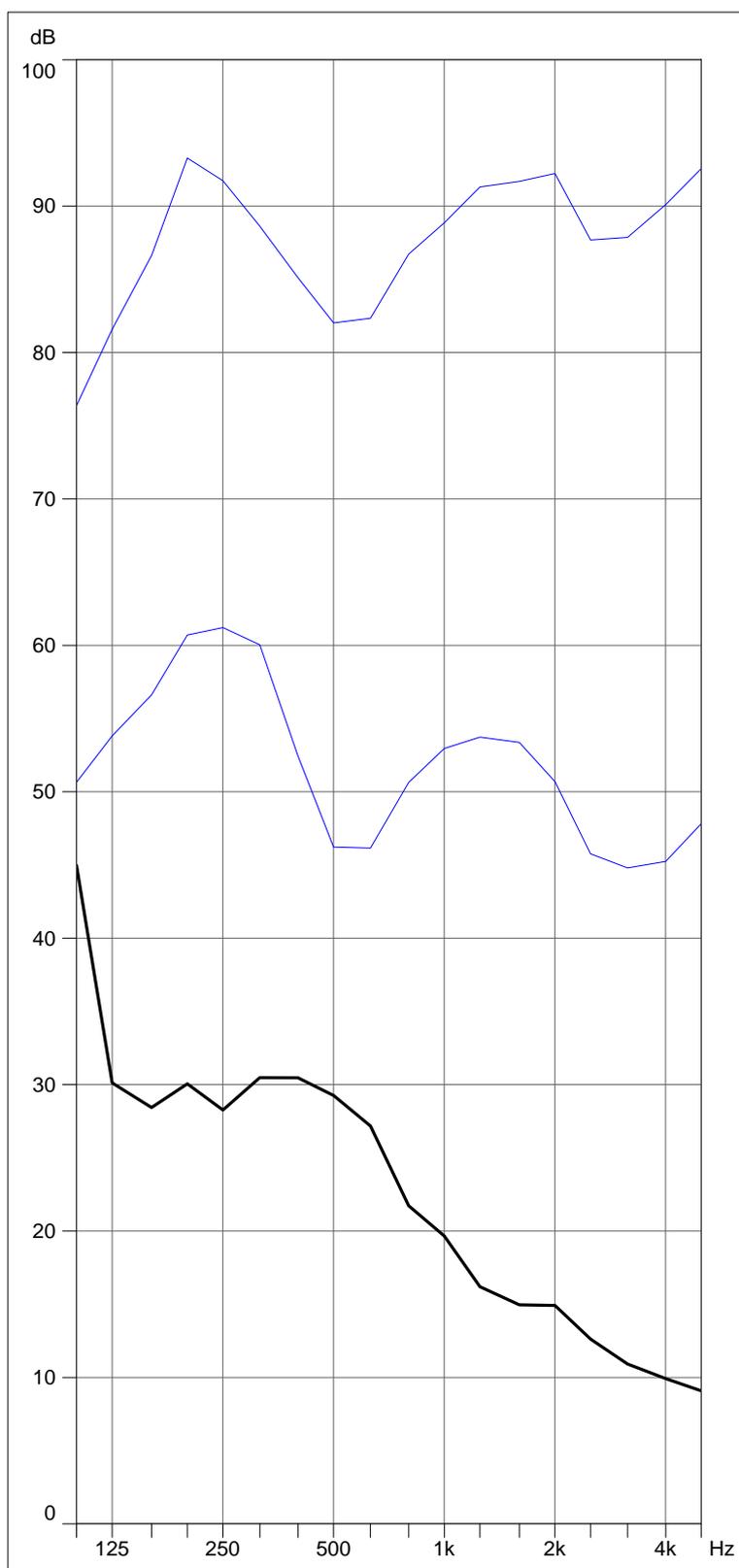
Dtr,2m,nT,w+Ctr = 36 dB

D2m,nT,A = 39 dB

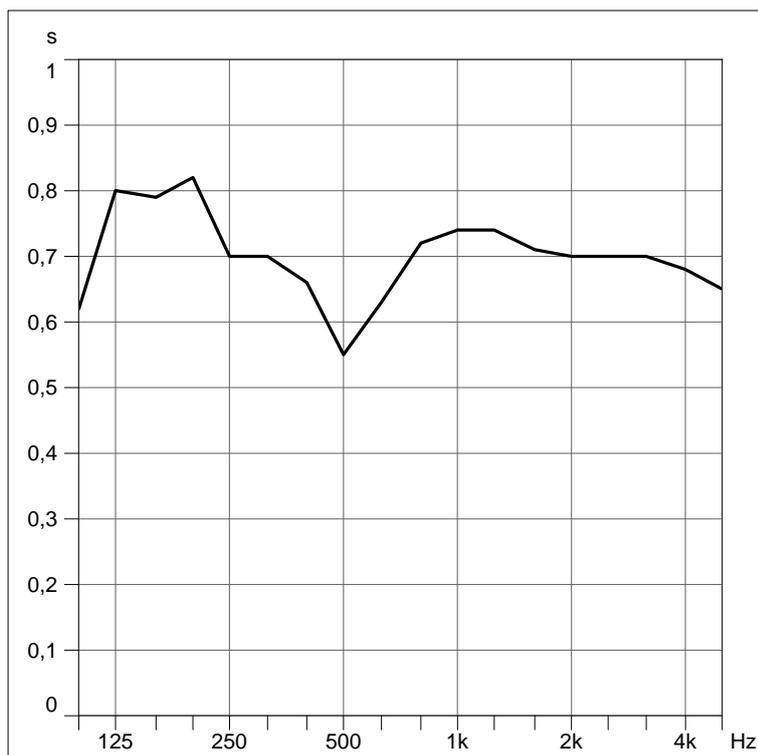
D2m,nT,Atr = 36 dB



Part. A Resultados



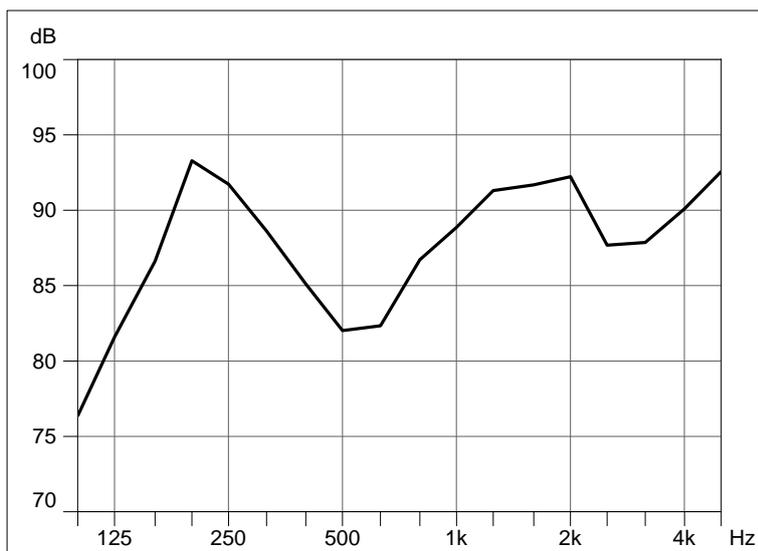
Part. A Niveles de Sonido



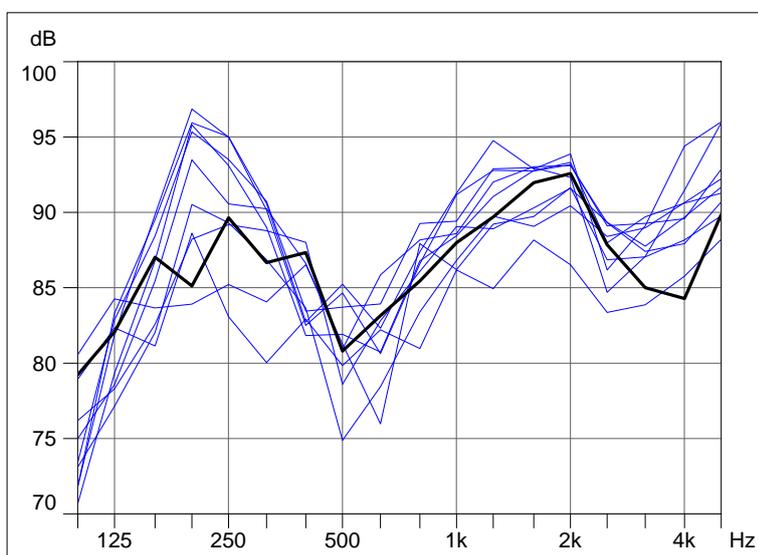
Part. A Reverberación

Part. A Resultados:

[Hz]	L1A[dB]	L2A[dB]	B2A[dB]	T2A[s]	Dtr,2m,nT[dB]
100	76,4	50,7	45,0	0,62	26,7
125	81,6	53,8	30,1	0,80	29,8
160	86,6	56,6	28,4	0,79	32,0
200	93,3	60,7	30,1	0,82	34,7
250	91,7	61,2	28,3	0,70	32,0
315	88,6	60,0	30,5	0,70	30,0
400	85,1	52,5	30,5	0,66	33,9
500	82,0	46,2	29,3	0,55	36,2
630	82,3	46,2	27,2	0,63	37,2
800	86,7	50,6	21,7	0,72	37,6
1 k	88,9	53,0	19,7	0,74	37,6
1,25 k	91,3	53,7	16,2	0,74	39,3
1,6 k	91,7	53,4	15,0	0,71	39,9
2 k	92,2	50,7	14,9	0,70	43,0
2,5 k	87,7	45,8	12,6	0,70	43,4
3,15 k	87,9	44,8	10,9	0,70	44,6
4 k	90,1	45,2	9,9	0,68	46,2
5 k	92,6	47,8	9,1	0,65	45,9



L1 Promedio

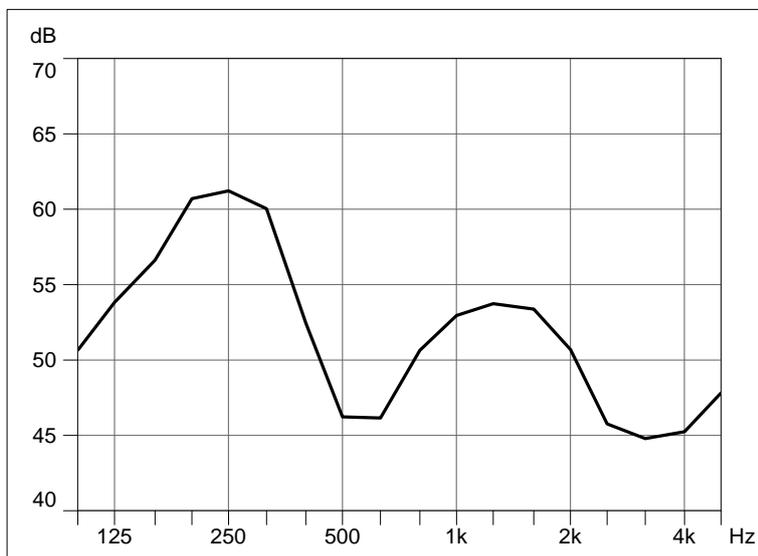


L1 Posiciones

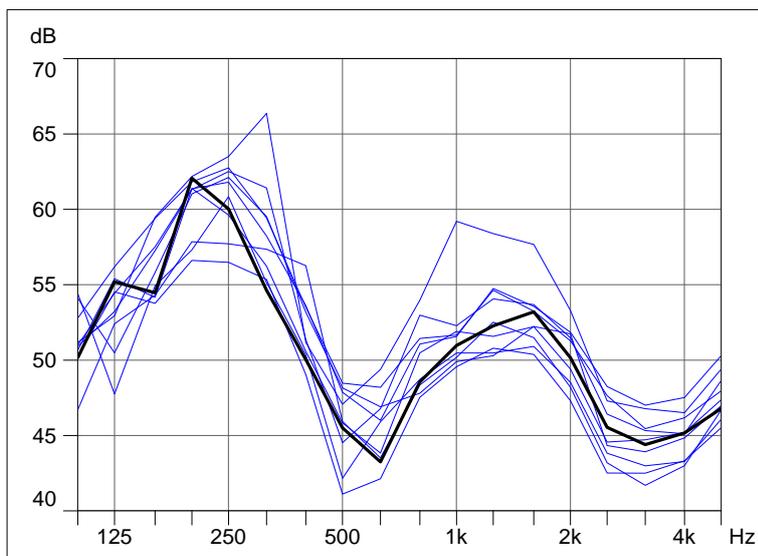
L1 Posiciones:

[Hz]	01[dB] 09[dB]	02[dB] 10[dB]	03[dB] Prm.[dB]	04[dB] Desv.Est.	05[dB]	06[dB]	07[dB]	08[dB]
100	71,8 80,6	71,8 79,2	70,7 76,4	73,1 3,56	73,4	75,0	76,2	78,9
125	83,3 84,3	81,9 82,1	79,3 81,6	77,1 2,39	82,9	78,6	78,3	82,3
160	89,5 83,7	89,9 87,0	86,8 86,6	82,0 3,16	88,4	85,5	82,6	81,1
200	95,9 83,9	96,9 85,1	95,8 93,3	90,5 4,89	95,3	93,5	88,2	88,6
250	95,0 85,2	95,0 89,6	93,1 91,7	89,3 4,02	93,5	90,6	89,2	83,1
315	90,6 84,1	90,2 86,7	89,0 88,6	86,9 3,38	90,7	90,2	88,8	80,0
400	82,7 86,5	82,5 87,3	81,8 85,1	83,7 2,25	83,4	86,6	88,0	82,9
500	85,2 81,3	84,7 80,8	81,9 82,0	74,9 3,01	83,7	80,9	78,6	79,8
630	82,3	80,6	80,7	78,4	83,9	85,9	82,8	82,2

	76,0	83,2	82,3	2,77				
800	87,4	86,6	86,8	83,4	89,3	88,2	86,1	81,0
	87,9	85,4	86,7	2,37				
1 k	91,3	91,2	88,4	86,8	89,4	88,6	89,1	86,2
	86,2	88,0	88,9	1,75				
1,25 k	94,8	92,8	91,0	89,7	92,9	92,0	88,9	84,9
	89,2	89,7	91,3	2,69				
1,6 k	92,9	92,7	92,8	89,1	93,0	93,0	90,3	88,2
	89,7	92,0	91,7	1,79				
2 k	93,9	93,2	93,3	90,4	92,3	93,1	91,6	86,5
	91,6	92,6	92,2	2,05				
2,5 k	86,2	89,1	88,0	88,4	84,7	89,3	89,3	83,4
	86,9	87,9	87,7	1,96				
3,15 k	89,1	89,3	89,7	89,0	87,1	87,4	87,8	83,9
	87,0	85,0	87,9	1,83				
4 k	94,4	89,6	90,6	90,6	91,5	87,9	89,7	85,8
	88,2	84,3	90,1	2,86				
5 k	96,0	92,9	91,3	92,2	95,9	90,7	91,7	88,2
	89,8	89,9	92,6	2,52				



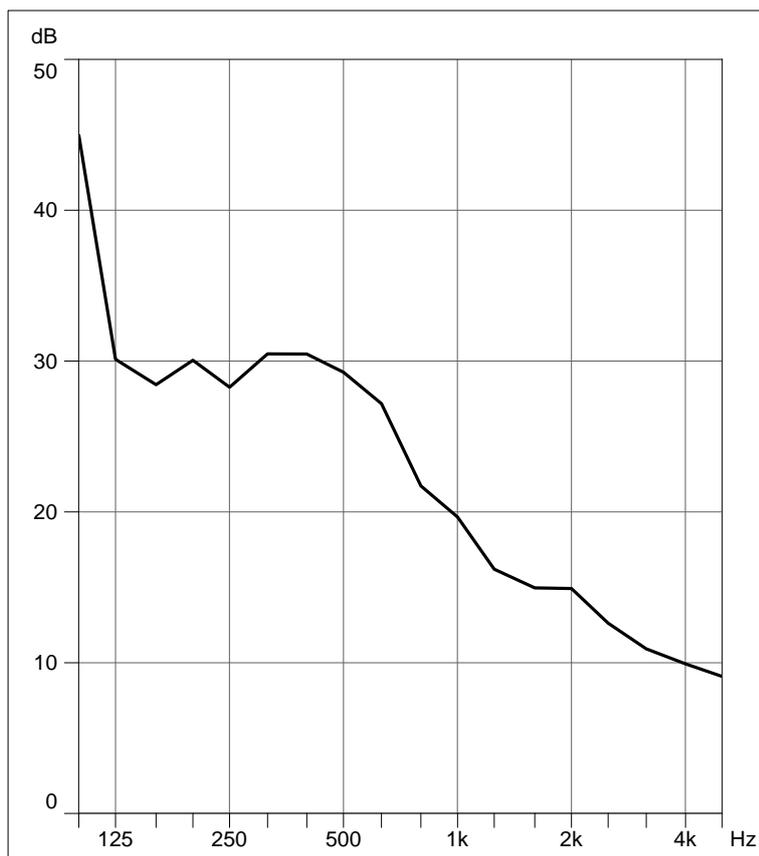
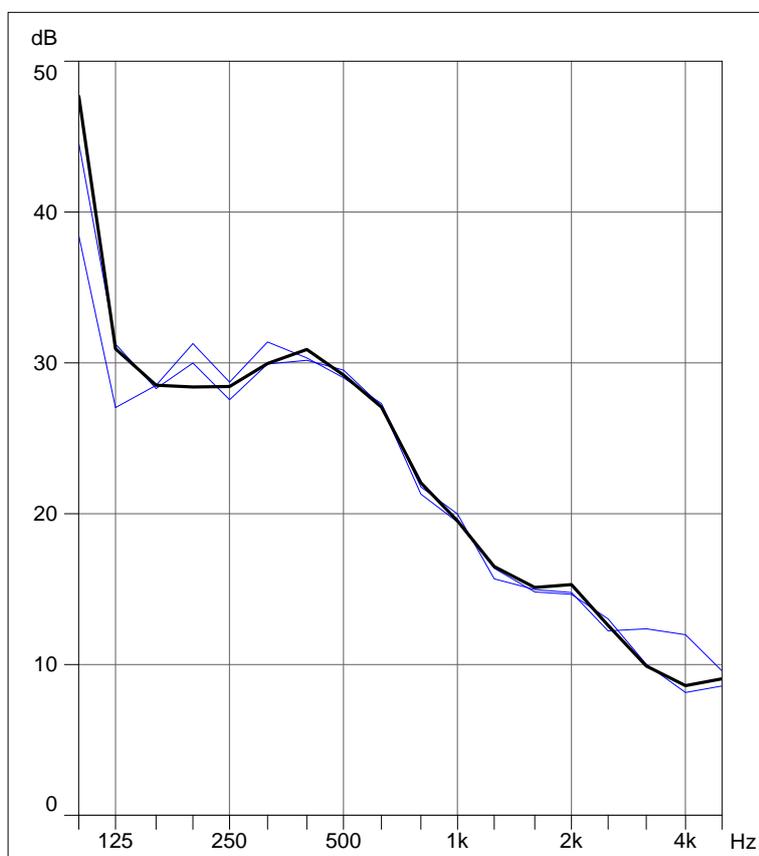
L2 Promedio



L2 Posiciones

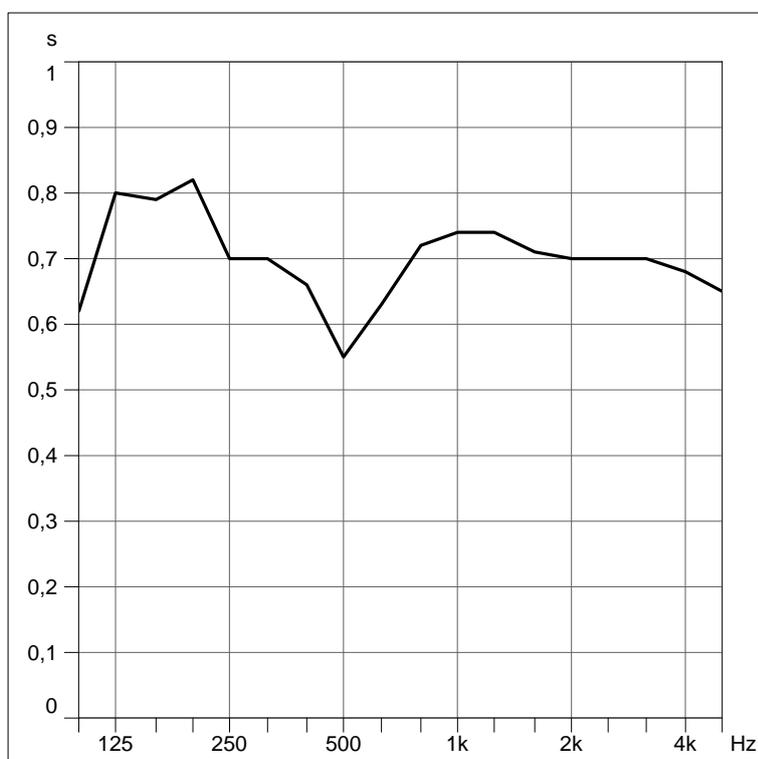
L2 Posiciones:

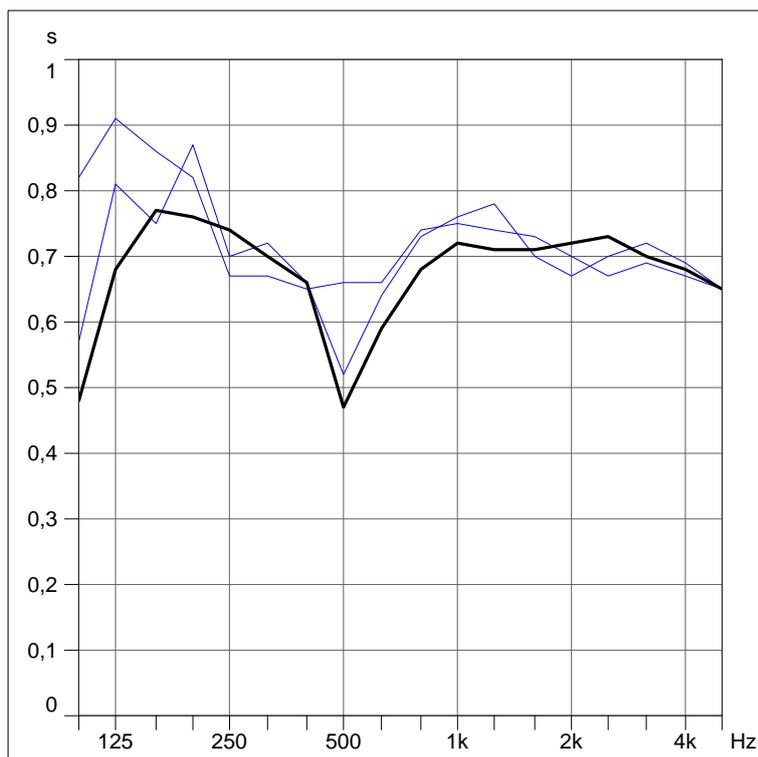
[Hz]	01[dB] 09[dB]	02[dB] 10[dB]	03[dB] Prm.[dB]	04[dB] Desv.Est.	05[dB]	06[dB]	07[dB]	08[dB]
100	51,2 50,2	51,0 50,2	52,8 50,7	54,1 2,14	50,7	50,9	46,7	54,4
125	52,9 54,5	54,4 55,2	56,2 53,8	50,5 2,48	55,4	53,2	52,4	47,8
160	59,5 53,8	57,5 54,5	59,4 56,6	55,8 2,11	54,2	57,3	54,3	54,9
200	62,2 56,6	61,4 62,1	61,8 60,7	61,0 2,07	61,4	61,3	57,9	57,3
250	63,5 56,5	61,8 60,0	62,8 61,2	62,1 2,21	59,6	62,5	57,7	60,8
315	66,4 55,4	58,2 54,6	59,4 60,0	59,5 3,77	56,2	61,4	57,4	55,1
400	51,2 49,0	53,6 50,0	53,5 52,5	53,2 2,13	50,6	51,4	56,3	50,4
500	47,1 41,1	47,9 45,5	48,5 46,2	48,2 2,41	45,8	44,5	45,9	42,2
630	49,4 42,1	46,0 43,3	48,2 46,2	46,9 2,29	43,8	46,8	43,5	45,9
800	54,0 47,5	51,1 48,6	51,4 50,6	47,8 2,19	50,5	53,0	48,4	48,7
1 k	59,2 49,6	51,6 51,0	51,7 53,0	49,9 2,87	51,9	52,3	50,2	50,5
1,25 k	58,4 50,8	54,8 52,3	54,6 53,7	50,3 2,51	51,6	54,1	52,5	50,5
1,6 k	57,7 50,4	53,6 53,2	53,2 53,4	52,2 1,99	52,2	53,7	51,5	50,9
2 k	53,3 47,3	51,9 50,2	51,3 50,7	51,7 1,85	49,4	51,5	48,2	48,5
2,5 k	47,3 42,5	48,3 45,5	47,6 45,8	44,3 1,92	44,6	46,4	43,2	43,8
3,15 k	46,8 42,5	47,0 44,4	45,5 44,8	43,9 1,68	44,7	45,3	41,7	43,0
4 k	46,5 43,3	47,5 45,2	46,2 45,2	44,8 1,42	45,2	45,1	43,0	43,3
5 k	49,4 45,5	50,3 46,8	48,0 47,8	47,0 1,44	47,4	48,7	46,7	46,1

**B2 Promedio****B2 Posiciones**

B2 Posiciones:

[Hz]	01[dB]	02[dB]	03[dB]	Prm.[dB]	Desv.Est.
100	38,4	44,6	47,7	45,0	4,08
125	27,0	31,2	30,9	30,1	1,95
160	28,5	28,3	28,5	28,4	0,10
200	31,3	30,0	28,4	30,1	1,18
250	28,7	27,6	28,4	28,3	0,49
315	31,4	29,9	30,0	30,5	0,68
400	30,3	30,2	30,9	30,5	0,30
500	29,0	29,5	29,2	29,3	0,21
630	27,3	27,1	27,1	27,2	0,09
800	21,8	21,3	22,1	21,7	0,30
1 k	20,0	19,4	19,5	19,7	0,23
1,25 k	15,7	16,4	16,5	16,2	0,36
1,6 k	15,0	14,8	15,1	15,0	0,11
2 k	14,8	14,7	15,3	14,9	0,27
2,5 k	12,2	13,0	12,6	12,6	0,32
3,15 k	12,4	10,0	9,9	10,9	1,14
4 k	12,0	8,1	8,6	9,9	1,74
5 k	9,6	8,6	9,1	9,1	0,40

**T2 Promedio**



T2 Posiciones

T2 Posiciones:

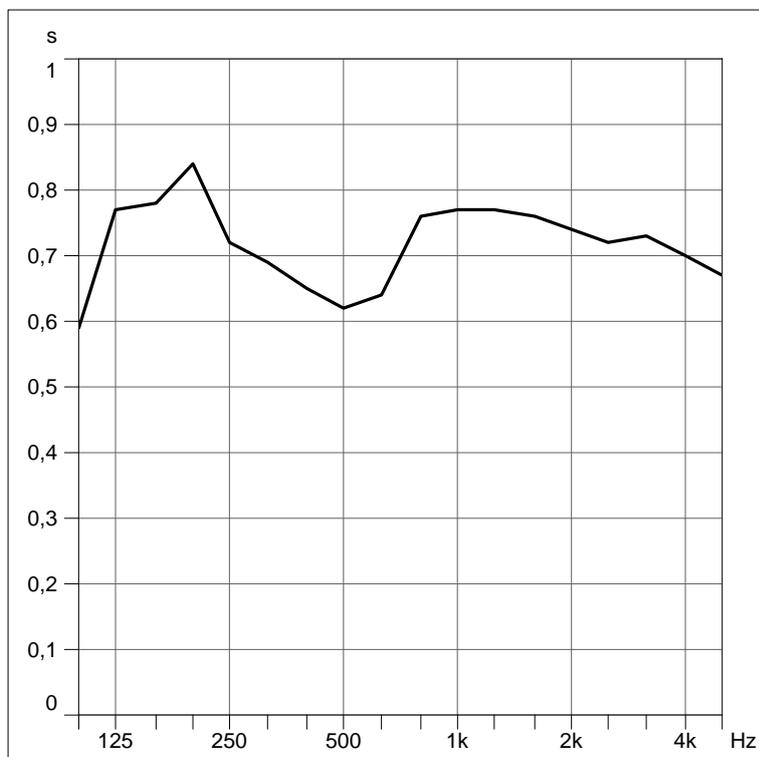
[Hz]	01[s]	02[s]	03[s]	Prm.[s]	Desv.Est.
100	0,82	0,57	0,48	0,62	0,14
125	0,91	0,81	0,68	0,80	0,09
160	0,86	0,75	0,77	0,79	0,04
200	0,82	0,87	0,76	0,82	0,04
250	0,67	0,70	0,74	0,70	0,02
315	0,67	0,72	0,70	0,70	0,02
400	0,65	0,66	0,66	0,66	0,00
500	0,66	0,52	0,47	0,55	0,08
630	0,66	0,64	0,59	0,63	0,02
800	0,74	0,73	0,68	0,72	0,02
1 k	0,75	0,76	0,72	0,74	0,01
1,25 k	0,74	0,78	0,71	0,74	0,02
1,6 k	0,73	0,70	0,71	0,71	0,01
2 k	0,70	0,67	0,72	0,70	0,02
2,5 k	0,67	0,70	0,73	0,70	0,02
3,15 k	0,69	0,72	0,70	0,70	0,01
4 k	0,67	0,69	0,68	0,68	0,00
5 k	0,65	0,65	0,65	0,65	0,00

Fecha de la medida: 05/02/2016 16:45:44

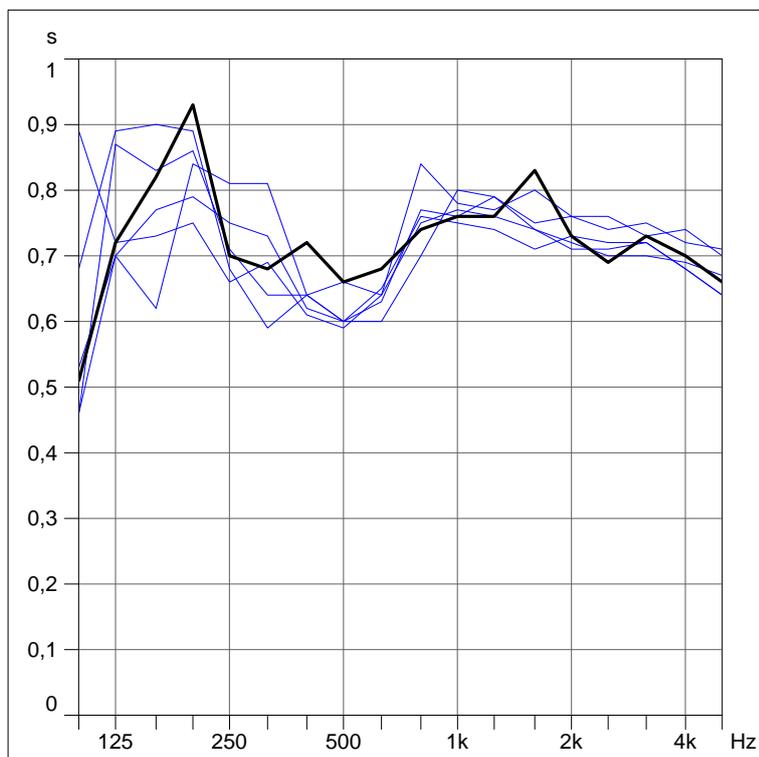
Aislamiento a ruido aéreo TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Cálculos según: CTE

T0: 0,50 s.



T2 Promedio



T2 Posiciones

T2 Posiciones:

[Hz]	01[s]	02[s]	03[s]	04[s]	05[s]	06[s]	Prm.[s]	Desv.Est.
100	0,53	0,46	0,68	0,89	0,46	0,51	0,59	0,15
125	0,70	0,87	0,89	0,72	0,70	0,72	0,77	0,08
160	0,62	0,83	0,90	0,73	0,77	0,82	0,78	0,08
200	0,84	0,86	0,89	0,75	0,79	0,93	0,84	0,05
250	0,81	0,71	0,68	0,66	0,75	0,70	0,72	0,04
315	0,81	0,64	0,59	0,69	0,73	0,68	0,69	0,06
400	0,64	0,64	0,64	0,61	0,62	0,72	0,65	0,03
500	0,66	0,60	0,60	0,59	0,60	0,66	0,62	0,02
630	0,64	0,63	0,65	0,64	0,60	0,68	0,64	0,02
800	0,75	0,77	0,76	0,84	0,70	0,74	0,76	0,04
1 k	0,77	0,76	0,75	0,78	0,80	0,76	0,77	0,01
1,25 k	0,76	0,79	0,74	0,77	0,79	0,76	0,77	0,01
1,6 k	0,74	0,75	0,71	0,80	0,74	0,83	0,76	0,04
2 k	0,71	0,76	0,73	0,76	0,72	0,73	0,74	0,01
2,5 k	0,71	0,74	0,72	0,76	0,70	0,69	0,72	0,02
3,15 k	0,72	0,75	0,72	0,73	0,70	0,73	0,73	0,01
4 k	0,68	0,72	0,68	0,74	0,69	0,70	0,70	0,02
5 k	0,64	0,71	0,64	0,70	0,67	0,66	0,67	0,02

ANEXO II: INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA

PRODUCT DATA

Investigator™ — Type 2260-D with BZ-7204 and Qualifier Type 7830,
Investigator — Type 2260-G with BZ-7207 and Qualifier Light Type 7831

The combined features of Investigator Types 2260-D with Qualifier Type 7830 PC Software, or 2260-G with Qualifier Light Type 7831 provide ideal facilities for architectural and building acoustic measurements.



USES AND FEATURES

USES

- Architectural and building acoustic measurements of:
 - Airborne sound insulation
 - Impact sound insulation
 - Reverberation time

FEATURES (2260-D)

- Complete hand-held building acoustics analyzer
- Measures level and reverberation time spectra
- Built-in pink and white noise generator
- On the spot calculation of airborne sound insulation curves and indexes
- Façade insulation calculations
- Satisfies ISO and national standards
- 2-channel measurements
- Measures reverberation time with impulse or interrupted noise excitation
- Displays reverberation time and decay curves
- Serial measurement
- Complete system using available accessories

FEATURES (2260-G)

- Measures reverberation time with impulse or interrupted noise excitation
- Displays reverberation time and decay curves
- Interrupted noise or impulse excitation
- Calculates broadband average reverberation time
- Economical and compact solution

FEATURES (7830)

- Calculates sound insulation curves and indexes
- Edits measurement results, including manual input of data
- Documentation and reporting facilities

FEATURES (7831)

- Calculates reverberation time
- Edits measurement results, including manual input of data
- Documentation and reporting facilities

A Complete Measurement System for Architectural and Building Acoustics

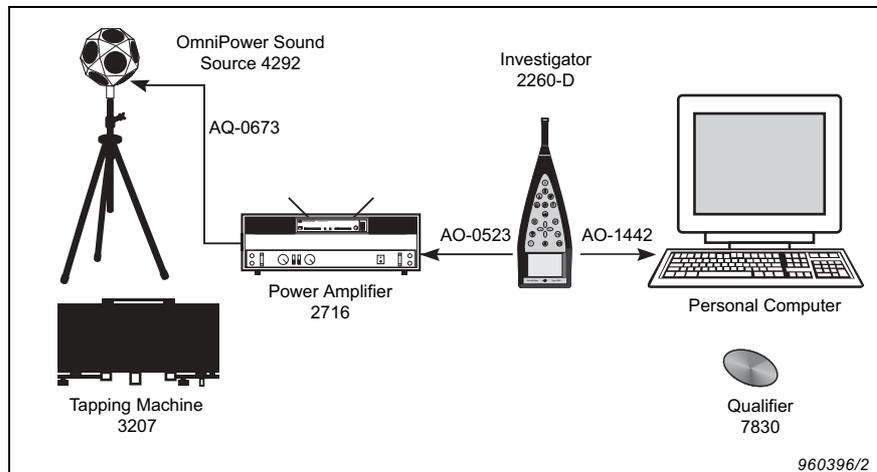
The combination of well proven, reliable hardware and tailor-made software effectively avoids the necessity of a PC in the field. In addition, the calculation of sound insulation curves and indexes can be provided on-the-spot.

The following additional components complete the system:

- OmniPower Sound Source™ Type 4292
- Power Amplifier Type 2716
- Flight Case KE-0348
- Tapping Machine Type 3207

See also Sound Sources for Building Acoustics Product Data (BP 1689). A typical configuration is shown in Fig. 1.

Fig. 1
Typical measurement setup also showing optional equipment available from Brüel & Kjær to cover your requirements for measuring and analysing architectural and building acoustics



Investigator 2260-D

This is the standard Investigator loaded with the supplied BZ-7204 software. The use of this software for a typical application is described here.

Using 2260-D/BZ-7204

The main purposes of BZ-7204 software are to measure the building-acoustic parameters needed, and to make sound insulation calculations.

Measurement

Calculation of airborne sound insulation normally requires measurement of:

- L1: Source room level
- L2: Receiving room level
- B2: Background noise in receiving room
- T2: Reverberation time in receiving room

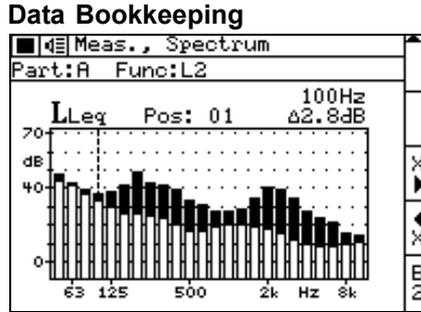
Depending upon standard and calculation formula, it may not be necessary to measure B2 and/or T2. Also, L1 measurements are not used in impact sound insulation.

BZ-7204 allows measurement of all these parameters in any order required.

In level measurements (L1, L2 and B2) it is the L_{eq} -value that is recorded. The measurement time can be specified in steps of 1 second.

In reverberation time measurements (T2) a short-time L_{eq} (down to 8 ms) is used to record a multispectrum for calculating reverberation time.

Fig. 2
Screen shot showing the measurements of L2 and B2



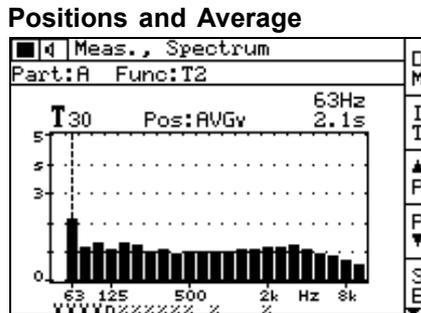
BZ-7204 has an automatic data bookkeeping system, that saves you the task of remembering file names, etc. It is a hierarchical system with a “Job” record at the top level. A Job is denoted by a four digit number. As an example, this could relate to a certain measurement location.

Within a Job, one Task is performed, e.g., airborne sound insulation, impact sound insulation or reverberation time.

Measurements for several partitions (denoted by a letter, A to Z), for example, walls and floors, can be contained in one job. Each partition has a set of (L1), L2, B2 and T2 that consist of one or more positions of each. For each partition the sound insulation can be calculated on the basis of the average of all positions of (L1), L2, B2 and T2.

Four measurement displays are available in airborne sound insulation: L1, L2, B2 and T2. A clear indication of which one has been selected is shown on the 2260 screen. It is easy to change between them by pressing a key.

Fig. 3
Screen shot showing the spectrum of reverberation times

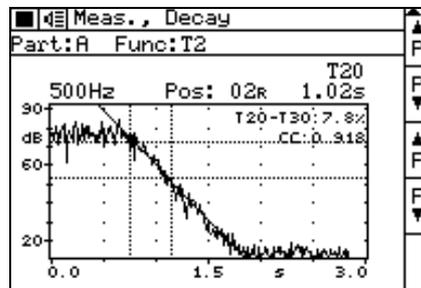


It is possible to measure and store up to 25 positions each for L1, L2, B2 and T2. The positions are measured one at a time and the spectra can be viewed continuously on the screen. Positions can be stored automatically with automatically incremented position numbers. Alternatively, positions can be stored manually in any position number. When the first position is stored (either manually or automatically) some setup parameters, for example, the bandwidth, are “frozen” to make sure that all the positions for the job will be compatible. Every time a new position is stored the average is calculated.

In level measurements (L1, L2 and B2) it is possible to view the following displays:

- Instantaneous level
- Current position
- Single positions
- Average of all positions

Fig. 4
Decay at 500 Hz for a typical measurement



These are shown as spectra. When looking at L2, the B2-curve may also be shown (and vice versa) to indicate the distance to the background noise.

Reverberation time measurement is made using interrupted noise or impulse excitation (e.g., pistol shot). With impulsive noise, the user enters a trigger level, and the 2260 will, when triggered, automatically record the decay and perform backwards integration (Schroeder method). This method gives a smooth decay comparable to the average of a large number of interrupted noise decays.

With interrupted noise, ensemble averaging is used on multiple decays in the same position. Averaging of reverberation times (T20 and T30) is used across positions to provide fast

averaging results. To check the quality of decays, it is possible for each position to look at the decay in each frequency band.

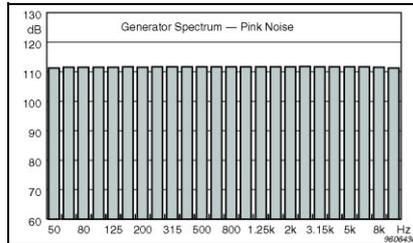
The broadband average T20 and T30 of user selected frequency bands can be calculated.

Reuse

To save measurement time, L1, B2 and T2 may be copied from another measurement. This is relevant when several partitions have common source- or receiving room.

Generator

Fig. 5
1/3-octave spectrum of the internal generator output for pink noise set to 50 Hz– 10 kHz. Measured in 1/3-octaves 50 Hz– 10 kHz

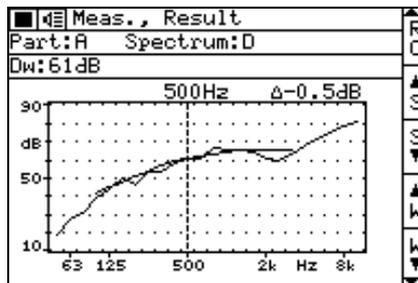


The built-in generator can supply pink noise or white noise in the bandwidth used for the measurement. The signal is switched on and off automatically in accordance with the performed measurement.

The noise signal may be connected to a power amplifier and loudspeaker. Alternatively, an on/off output signal can be selected, to control an external generator.

Calculations

Fig. 6
Screen shot showing the calculation of airborne sound insulation according to ISO standard



As soon as just one position of L1, L2, (B2) and T2 has been measured, the sound reduction index (spectrum and weighted) can be calculated. Generally the sound insulation is calculated (for each partition) from the average of all the positions of L1, L2, B2 and T2. It is possible to exclude positions from the average to see what effect certain positions have on the result. Several calculation formulae can be selected, depending on the selected standard.

The following standards can be selected: ISO, DIN, BS, SS, ÖNORM, Sia, UNI, NF, NBE, NEN, BREW and ASTM. For standards and parameters, see Tables 1 and 2.

Printing

Printing is possible in several formats for on-the-spot documentation. All screen pictures can be sent to a printer from Type 2260-D. The type of print-out depends on the current display – Spectrum, Overview, Result or Setup. The scope of printed data may be selected as one Partition, or the entire Job.

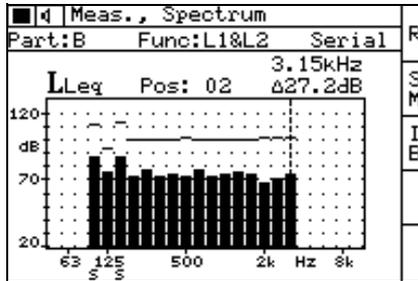
Data Transfer to a PC

Measurement data can be transferred to a PC for post processing using the Qualifier™ Type 7830 software. Furthermore, data can be transferred in formats suitable for processing in a spreadsheet.

Fig. 7
 Example of print-out from Type 2260-D to Portable Printer Type 2322. Result spectra and weighted results are shown for an ISO measurement

Brüel & Kjær Sound Analyzer Type 2260 Building Acoustics Software BZ7204					
Job	1				
Partition	A				
Task	Airborne				
LLeq	Results				
Freq.	D	Dn R	DnT R	R' R	R
Hz	dB	dB	dB	dB	dB
50	19.5		Y		Y
63	27.2	28.4 R		33.4 R	28.4 R
80	31.1	29.7 R		34.8 R	29.7 R
100	38.8	38.1 R		43.1 R	38.1 R
125	44.2	42.6 n		47.6 n	42.6 n
160	50.2	49.4 %		54.4 %	49.4 %
200	45.9	44.7 %		49.8 %	44.7 %
250	53.5	51.6 %		56.6 %	51.6 %
315	53.1	51.4 %		56.5 %	51.4 %
400	58.0	55.8 %		60.9 %	55.8 %
500	60.5	58.4 %		63.4 %	58.4 %
630	61.3	59.5		64.5	59.5
800	66.6	64.6 %		69.6 %	64.6 %
1k	65.6	63.7		68.8	63.7
1.25k	65.9	64.3		69.4	64.3
1.6k	64.8	63.2		68.2	63.2
2k	60.7	59.2 %		64.3 %	59.2 %

Fig. 8
 2260 screen with two bands measured serially (2-channels)



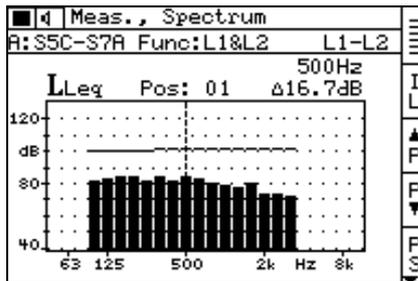
Serial Measurement

If the background noise in some frequency bands is too high, those bands can be measured serially, i.e., one by one in automatic sequence. The total output of the internal noise generator remains the same, so the level in each band will increase (by up to 10 dB) and thus improve the signal to noise ratio. This signal works for functions L1, L2 and T2 (it is not relevant for B2) for both one and two channels.

2-channel Measurement

The levels L1 and L2 on either side of the partition can be measured simultaneously. This is useful when making facade insulation measurements with traffic noise as a source, since this noise varies over time. 2-channel measurement can also be used to speed up measurements, or to simplify the measurement procedure.

Fig. 9
 2260 screen with 2-channel spectrum



To connect two microphones, add another Prepolarized Free-field 1/2-inch Microphone Type 4189 and Preamplifier ZC-0026, and connect the two preamplifiers via Dual 10-pole Adaptor JP-1041. Alternatively, if a second microphone signal is already available, it can be connected via the AC input of 2260 Investigator.

Fig. 10
 Setup for 2-channel measurement. Type 2260 microphone and preamplifier is used for one channel, and one additional microphone and preamplifier for the other channel

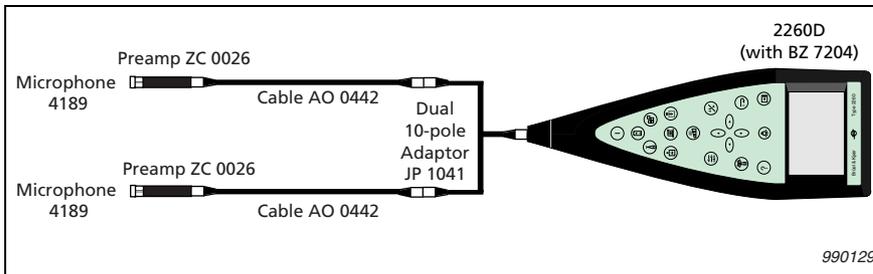
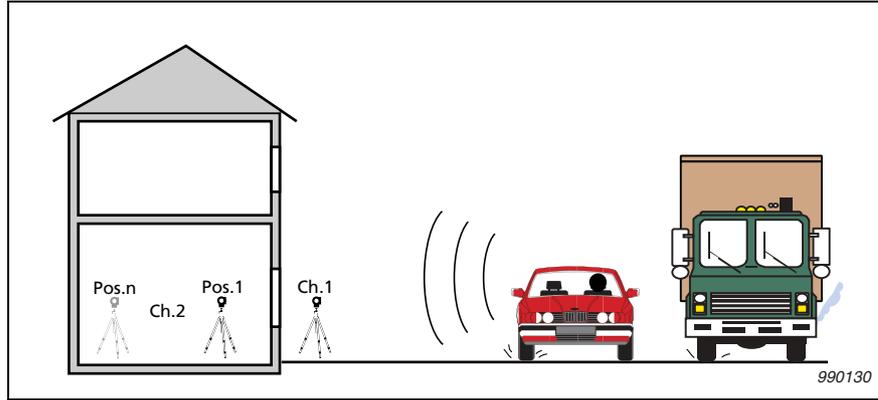


Fig. 11
 Measuring sound pressure outside and inside the façade simultaneously – 2-channel measurement

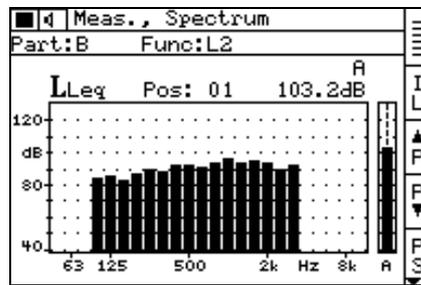


Special Features

A number of features are included in response to special needs in certain countries, and they can be useful for general application.

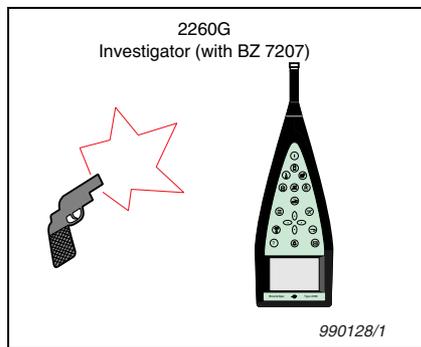
- Broadband A-weighted value for L1, L2 and B2. The instantaneous dB (A) value is shown on the 2260 screen for one channel (but not stored)
- Correction spectrum can be entered by the user. This applies to both channels (if used)
- Manual entry of reverberation time in any frequency band. You can return to the measured value at any time

Fig. 12
 2260 screen with L2 measurement and A weighting



Investigator 2260-G

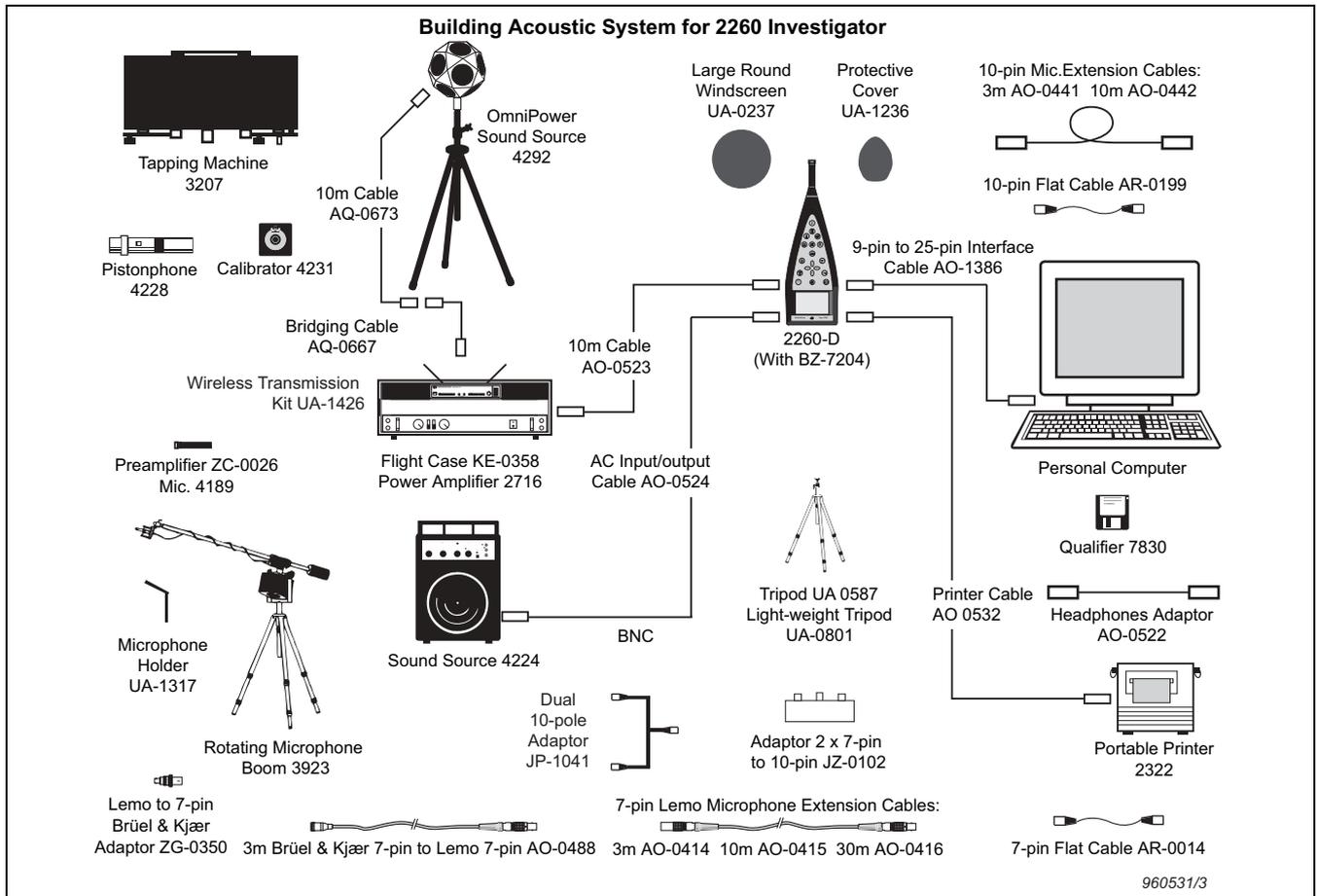
Fig. 13
 Type 2260-G will measure reverberation time using just a starting pistol or other impulse sound source



Ideal for Room Acoustics

Type 2260-G (including software BZ-7207) is ideal for applications that only require measurement of reverberation time, such as acceptance test of rooms, noise reduction in workplaces or determination of room corrections. 2260-G works like 2260-D but with the reverberation time task only. For these applications, you need to carry no more than 2260-G and a starting pistol. However, you can, of course, also use the built-in generator and a sound source. The calculation of broadband average reverberation time is of particular interest. After measurement, you select the bands you want included in the average, and the average is shown on screen (but not stored). The decay curves may be exported to a spreadsheet for detailed analysis. For reviewing, editing and reporting, Qualifier Light Type 7831 is recommended, and when ordered with 2260-G or BZ-7207, forms an economical and total solution.

Fig. 14 Accessories for Investigator Types 2260-D and 2260-G



Qualifier Type 7830

Qualifier Type 7830 PC-software provides the perfect solution for post-processing and documentation of measurement results.

Data Transfer

You can either transfer data from Type 2260-D to the PC on-the-spot or back in the office.

Transfer from Type 2260-D is either direct, via its RS-232 serial interface, or indirect, via PC-cards. A Serial Interface Cable AO-1442 is available for data output to a PC via the serial interface. Data are transferred maintaining the job and partition groupings that were made with Type 2260-D.

Qualifier Calculations

Qualifier Type 7830 works with the same bookkeeping system as Type 2260. This means that when data has been transferred to the PC you see the same results as in the 2260, including selected standard, excluded positions and other setup parameters.

Qualifier Type 7830 fulfils the same standards as listed for BZ-7204. See Tables 1 and 2. With Qualifier Type 7830, it is possible to display the reverberation measurements as 3D-multispectra. This provides a complete overview of the frequency-dependent reverberation curves.

Using Qualifier's spreadsheet-like data sheets, it is also possible to manually adjust data used in calculations, for example, to change levels or reverberation times. The result can be observed immediately.

Reverberation times can be modified by drawing a new slope line with the mouse across a displayed decay curve.

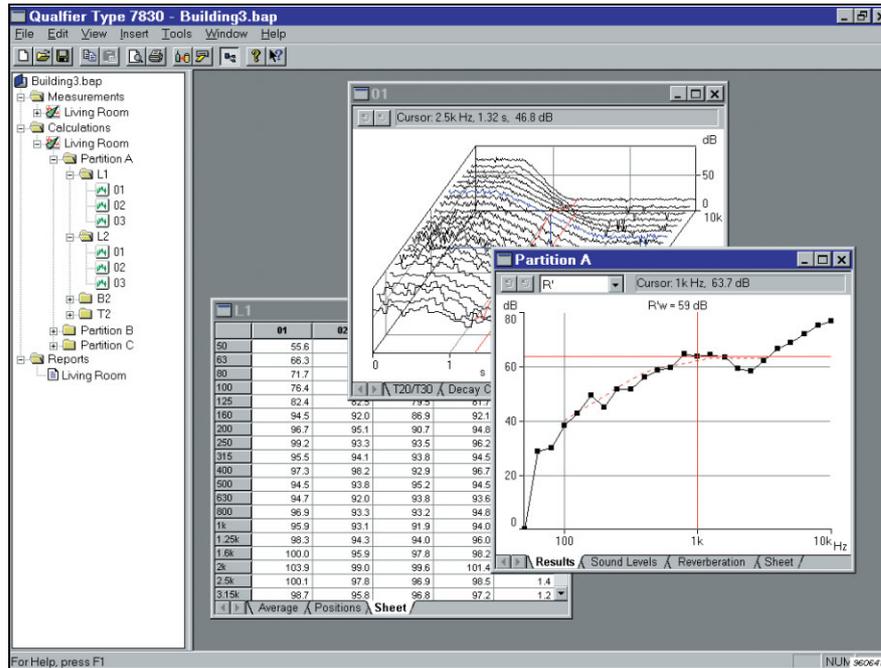
For diagnostic purposes, the reduction curve can be modified and the single value will adjust accordingly. And because manual input of data is possible, modifications for walls and rooms can be simulated.

Flexible Reverberation Averaging

Reverberation-time measurements may be averaged in two ways:

- Averaging of reverberation times (T20 and T30) or
- Averaging of decay curves (multispectra), also called ensemble averaging. This mode has the advantage of producing an average decay curve (multispectrum) for each frequency band

Fig. 15
 Typical screen view of Qualifier Type 7830. On the left is a Project Tree, and on the right, an airborne sound reduction curve with index, a 3D reverberation time plot and a table



Documentation

Extensive documentation facilities are available. These allow items such as graphs and text to be entered into a report and sent to the printer. Graphs can also be exported via the clipboard.

Qualifier Light Type 7831

Qualifier Light is like Qualifier but handles just the reverberation task. It provides an economical and convenient way of viewing, editing and reporting data from 2260-G measurements, as well as Reverberation Task data from the 2260-D.

Building Acoustic Standards

Table 1 Building acoustic standards

		Sweden	Germany	Austria	UK	England Wales	Switz	Italy	France	Spain	Holland	USA	
Measurement	ISO	SS	DIN	ÖNORM	BS	BREW	Sia	UNI	NF-S31	NBE	NEN	ASTM	
Typical Parameters	R' $L'n$	R' $L'n$	R $L'n$	DnT $L'nT$	DnT $L'nT$	DnT	DnT $L'nT$	Dn Ln	$DnAT$ $LnAT$	$DnAT$ $LnAT$	llu lco	FTL Ln	
Airborne	Lab	140-3	EN20140-3	EN20140-3	S5101	EN20140-3			8270-1	051	74-040-84/3		
	Field	140-4	EN20140-4	52210-1	S5100-1	2750-4	BREW	181	8270-4	054, -057	74-040-84/4	5077	E336-90
	Façade	140-5	EN20140-5	52210-5	S5100-3	2750-5		181	8270-5	055, -057	74-040-84/5	5077	E966-90
Impact	Lab	140-6	EN20140-6	52210-1	S5101	2750-6			8270-6	-052	74-040-84/6		
	Field	140-7	EN20140-7	52210-1	S5100-2	2750-7		181	8270-4	056, -057	74-040-84/7	5077	E1007-90
RT		3382 354		52212							5077		
Rating	Air	717-1	SS-ISO717-1	52210-4	S5100-1	5821-1,-3	BSEN 717-1	181	8270-7	-057	NBECA-88	5077	E413-73 E1332-90
	Impact	717-2	SS-ISO717-2	52210-4	S5100-2	5821-2		181	8270-7	-057	NBECA-88	5077	E989

Calculated Parameters

Table 2 Calculated parameters

Standard	ISO	SS	DIN ÖNORM BS UNI	BREW	Sia	NF	NBE	NEN	ASTM	None
Airborne Calculated parameters	D Dw Dn Dnw DnT DnTw $R' R'w R Rw$ DnTw +C +Ctr +C ₅₀₋₃₁₅₀ +C ₅₀₋₅₀₀₀ +C ₁₀₀₋₅₀₀₀ +Ctr ₅₀₋₃₁₅₀ +Ctr ₁₀₀₋₅₀₀₀ +Ctr ₅₀₋₅₀₀₀ $R'w$ or Rw +C +Ctr +C ₅₀₋₃₁₅₀ +C ₅₀₋₅₀₀₀ +C ₁₀₀₋₅₀₀₀ +Ctr ₅₀₋₃₁₅₀ +Ctr ₁₀₀₋₅₀₀₀ +Ctr ₅₀₋₅₀₀₀	ISO plus $R'w8$ $Rw8$ Dw8 DnTw8	See ISO	DnT DnTw +C +Ctr	ISO plus To variable	D DnT DnATrose DnATroute R Rrose Rroute	DA DnAT Dw +C +Ctr Dnw +C +Ctr DnT DnTw +C +Ctr $R'w$ or Rw +C +Ctr +C ₅₀₋₃₁₅₀ +C ₅₀₋₅₀₀₀ +C ₁₀₀₋₅₀₀₀ +Ctr ₅₀₋₃₁₅₀ +Ctr ₁₀₀₋₅₀₀₀ +Ctr ₅₀₋₅₀₀₀ RA $R'A$	DnT llu ;k	NR NIC NNR NNIC FTL FSTC	D Dn DnT R' R
Facade Calculated parameters	Dls,2m Dls,2m,w Dls,2m,nT Dls,2m,nT,w Dls,2m,nT,w +C +Ctr Dls,2m,n Dls,2m,n,w Dtr,2m Dtr,2m,w Dtr,2m,nT Dtr,2m,nT,w +C +Ctr Dtr,2m,n Dtr,2m,n,w $R'45^\circ R' tr,s$ $R'45^\circ w$ or $R' tr,s,w$ +C +Ctr +C ₅₀₋₃₁₅₀ +C ₅₀₋₅₀₀₀ +C ₁₀₀₋₅₀₀₀ +Ctr ₅₀₋₃₁₅₀ +Ctr ₁₀₀₋₅₀₀₀ +Ctr ₅₀₋₅₀₀₀	See ISO	See ISO		See ISO	DnT45° DnATroute 45° DnTtr DnATroute	ISO plus: Dls,2m,n,w +C +Ctr Dls,2m,A Dls,2m,nAT Dtr,2m,A Dtr,2m,nAT $R'+A45^\circ$	G_A $G_{A,K}$	OILR OITL OITC	$R'45^\circ$ $R' tr,s$ Dls,2m,nT Dtr,2m,nT Dtr,2m,n
Impact: Calculated parameters	$L'nt L'nTw$ $L'n L'nw$ $Ln Lnw$ $L'nw, Lnw$ or $L'nTw +$ $Ci C_{i 50-2500}$	ISO plus $L'nw8$ $Lnw8$ $L'nTw8$	See ISO		ISO plus To variable	LnT Ln $LnAT$ LnA	ISO plus $LnAT$ LnA	LnT lco	Ln IIC	$L'nT$ $L'n$ Ln

Sound Intensity for Building Acoustics (using 2260-E)

Building acoustics applications such as reduction indices and leakage detection benefit enormously from the intensity technique. 2260-E Investigator with Intensity Probe Kit Type 3595 form a hand-held solution for this application.

Fig. 16
Mapping the sound reduction to find leakages between studio and control room



As an alternative to a pressure-based measurement of the apparent sound insulation index R' for a given partition, this measurement system allows the corrected intensity sound reduction index, $R_{I,c}$ to be measured. This enables extra information regarding the contribution of various flanking and leakage transmissions to be gathered. In a traditional pressure-based measurement you get an apparent sound insulation index R' which takes every type of transmission into account. However, traditional measurements cannot identify individual transmission paths. But with this application you can choose specific details of any particular segment of any given partition or surface. If a compound partition is to be studied,

for example a wall containing a window, the respective corrected intensity sound reduction index, $R_{I,c}$ for both the wall material and for the window can be found.

Fig. 17
The $R_{I,cw}$ in surface display

Meas., Results					M
RI,cw		RI,c			C
WALL/EAST:		37.0dB			E
RI,C1:		43.0dB			D
4					S
3					
2	48	48	58	52	
1	43	43	43	53	T
	1	2	3	4	

The single-number weighted and corrected intensity sound reduction index, $R_{I,cw}$, is automatically calculated for each segment and the whole surface.

To create a sound field on one side of the wall (in the source room) use the internal white noise generator together with Power Amplifier Type 2716 and Omni-Power™ Sound Source Type 4296.

Leakages

If measurements reveal a leakage problem or “hidden” flanking transmission, the hand-held sound intensity system can conveniently be used for noise source location with respect to either a single band or the whole spectrum.

More Information

For more information about the Hand-held Intensity System, including sound power applications, please refer to Product Data BP 1755.

More About the Investigator Type 2260 Platform

The 2260 Investigator is a unique concept within the field of hand-held noise measurements. A range of software can be installed into an analyzer platform and dedicated PC software is available for post-processing the data.

Examples of Other Applications

Basic Sound Analysis Software BZ-7210 is pre-installed on all 2260 types making them Type 1 Sound Level Meters with real-time 1/3-octave frequency analysis and broadband statistical distributions.

Enhanced Sound Analysis 20 kHz Software BZ-7206, with octave and 1/3-octave band filters, converts Type 2260 into a precision sound analyzer. Besides a vast array of concurrently measured parameters, including statistics, direct interfacing with a PC enables remote control as well as data downloading using optional Brüel & Kjær PC software or Windows®/MS-DOS® programs.

Noise Profile Software BZ-7203 effectively converts Type 2260 into an electronic level recorder which measures and logs noise levels over a 110 dB dynamic range. It also has extensive capabilities for on-the-spot analysis including measurement annotation. Evaluator™ Type 7820 PC software is available for editing and combining measurement data into a Rating Level.

If you install BZ-7205 Sound Intensity software in your 2260 Investigator and mount the sound intensity probe, then you have a complete hand-held sound intensity measuring system. Automatic measurement guidance and aural feedback during measurements enable you to concentrate on making smooth scans of the surface. The system produces on-the-spot analyses of sound intensity and sound power for small as well as large objects. The sound intensity system can also be used to measure sound insulation and calculates the sound reduction index on the spot. It is ideal for measuring single building elements or for locating faults.

Acoustically Streamlined

The acoustically “streamlined” body of Type 2260 minimises the effect that the analyzer has on the sound field to within 0.4 dB throughout its working frequency range; well within IEC Type 1 tolerances. This, coupled with excellent directional characteristics, ensures that the validity of your measurements is unaffected by the presence of the Investigator in the sound field.

Microphone and Preamplifier

Investigator is supplied with a robust Falcon Range® microphone and preamplifier which conform with IEC and ANSI Type 1 standards.

The preamplifier is detachable and able to drive a 100 m long cable; a valuable asset when remote location of the microphone is necessary.

Calibration

Internal and external calibration facilities are allowed. Both are semi-automatic. The external method makes use of an external reference sound source, for example from the Brüel & Kjær Sound Calibrator Type 4231. Furthermore, Type 2260-D “remembers” its initial calibration (and the serial number of the microphone provided). An accredited initial calibration (EK-0462) is made only at the factory. If you need one, or need to replace an existing one, contact your Brüel & Kjær representative.

Compliance with Standards

	<p>CE-mark indicates compliance with: EMC Directive and Low Voltage Directive. C-Tick mark indicates compliance with the EMC requirements of Australia and New Zealand.</p>
<p>Safety</p>	<p>EN/IEC 61010-1: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use. UL 3111-1: Standard for Safety – Electrical measuring and test equipment.</p>
<p>EMC Emission</p>	<p>EN/IEC 61000-6-3: Generic emission standard for residential, commercial and light industrial environments. EN/IEC 61000-6-4: Generic emission standard for industrial environments. CISPR 22: Radio disturbance characteristics of information technology equipment. Class B Limits. FCC Rules, Part 15: Complies with the limits for a Class B digital device.</p>
<p>EMC Immunity</p>	<p>EN/IEC 61000-6-1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light industrial environments. EN/IEC 61000-6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments. Note 1: The above is guaranteed using accessories listed in this Product Data sheet only. Note 2: The above is guaranteed only when the AC output is not in use.</p>

Specifications – Investigator Type 2260-D

Specifications are given for Type 2260 fitted with Prepolarized Free-field 1/2" Microphone Type 4189 and Input Stage ZC-0026

SOUND LEVEL METER STANDARDS

Conforms with the relevant parts of the following:
IEC 651 (1979) Type 1 plus Amendment 1
IEC 1260 (1995) Octave and 1/3-octave Bands Class 0
ANSI S1.4 (1983) Type 1
ANSI S1.11-1986 Octave and 1/3-octave Bands, Order 3, Type 0-C, Optional Range

MEASUREMENT AND CALCULATION STANDARDS

Measurement and calculations can be made according to the following standards: ISO, DIN, BS, NBE, SS, Sia, ÖNORM, NF, UNI, ASTM, BREW and NEN. See Tables 1 and 2

SUPPLIED MICROPHONE

Prepolarized Free-field 1/2" Microphone Type 4189

Type: Prepolarized condenser

Nominal sensitivity: -26 dB ±1.5 dB re 1 V/Pa

Capacitance: 14 pF (at 250 Hz)

SUPPLIED INPUT STAGE

ZC0026

Input Impedance: 10 GΩ || <1 pF

Extension Cables: Up to 100m in length between the input stage and Type 2260 can be driven by the input stage without affecting measurements

MEASURING RANGE

Octave and 1/3-octave: 90 dB **A-weighted:** 80 dB

Adjustable readings from 70 dB to 130 dB in 10 dB steps (A-weighted: 80 dB range)

Max. peak level 3 dB above full scale reading

Passive Attenuation: Microphone Attenuator ZF-0023 (included) effectively increases all full-scale readings by 20 dB

UNDERRANGE INDICATION

Octave and 1/3-octave: 90dB below upper limit for each range setting, corresponding to less than 0.5 dB error

CHANNELS

L1 and L2 (Airborne Task) can be measured using 2 channels, which can be connected using any combination of preamplifier inputs and AC inputs. The two channels have independent gain and calibration settings. A correction spectrum can be entered manually for each channel

FREQUENCY WEIGHTING

Lin frequency weighting

A-weighting Instantaneous Fast (displayed, not stored)

OCTAVE AND 1/3-OCTAVE BAND FILTERS

Conform to IEC 1260 (1995), and ANSI S1.11-1986

Octave Band Centre Frequencies

Nominal: 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz

1/3-octave Band Centre Frequencies

Nominal: 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz, 1 kHz, 1.25 kHz, 1.6 kHz, 2 kHz, 2.5 kHz, 3.15 kHz, 4 kHz, 5 kHz, 6.3 kHz, 8 kHz, 10 kHz

Real-time Frequency Range: 50 Hz to 10 kHz centre frequencies

INHERENT NOISE LEVEL

(Inherent noise is the combination of the electrical noise and the thermal noise from the microphone at 20°C.) Typical values using a microphone Type 4189 with a nominal sensitivity:

1/3-octaves: 2 dB at 1 kHz, 8 dB at 10 kHz

1/1-octaves: 6 dB at 1 kHz, 12 dB at 8 kHz

DETECTORS

The analyzer contains several detectors working in parallel on every measurement:

Octave Band Filters (8) or 1/3-octave Band Filters (24): Pre-weighted by Lin., each with a detector channel containing one linear averaging detector

Overload Detector: Monitors the overload condition

A-weighted: Broadband detector channel with Fast exponential time weighting. Single-channel only

INTERNAL GENERATOR

Built-in pseudo-random noise generator

Spectrum: Selectable between Pink and White

Crest Factor:

Pink noise: 4.4 (13 dB)

White noise: 3.6 (11 dB)

Bandwidth: Follows measurement bandwidth

Lower limit: 50 Hz (1/3-oct.) or 63 Hz (oct.),

Upper limit: 10 kHz (1/3-oct.) or 8 kHz (oct.)

Output Level: Independent of bandwidth

Max.: 1V_{rms} (0 dB)

May be set in 1 dB steps 0–60 dB

When bandwidth is changed, the level for all bands is automatically adjusted to comply with the set output level

Turn-on time and Turn-off time: Equivalent to RT = 70 ms

Repetition Period: 175 s

Output Connector: Auxiliary 1 output

Control: See Measurement Control

EXTERNAL GENERATOR

Selectable as alternative to Internal Generator

For controlling external noise generator

Levels: 0 V (Generator off), 4.5 V (Generator on)

Rise-time and Fall-time: 10 μs

Control: See Measurement Control.

MEASUREMENTS

Instantaneous: For display, no storage

"Live" spectrum— L_{eq} with a short averaging time

Range: Follows setting in Levels and Reverberation Time

Generator: Turned on and off manually

Levels: For Display and Storage

L_{eq} : (L1, L2, B2) in octave or 1/3-octave bands

L1 and L2 simultaneously or as single channels

Averaging time: 1s to 59min. 59s

Range: Manual range or Autorange

Generator: Controlled automatically

Averaging: Up to 25 measurements may be averaged

Status indications: Overload, underrange, start time

Reverberation Time: T20 and T30 in octave or 1/3-octave bands
Decays are measured and stored, using averaging times between 8 and 96 ms, depending on bandwidth and decay time

- Manual entry: After measurement, the value in each band, for each position, may be changed by user entry
- Broadband average: The arithmetic average of the Reverberation Time for selected bands is calculated and displayed (not stored)
- Impulse excitation: When level (say from starter pistol) exceeds user selected trigger level, the decay is recorded and backwards integration performed (Schroeder method)
- The decay curves can be exported to a spreadsheet for detailed analysis
- Generator: Controlled automatically
- Repetition: Decays can be repeated automatically up to 99 times (ensemble averaging)
- Averaging: up to 25 T20 and T30 measurements can be averaged (arithmetic averaging)
- T20 and T30 calculation: From slope in evaluation range
- Slope estimation: Least squares approximation
- Status indications: Overload, underrange, start time, T20–T30%, Correlation Coefficient; extensive list of Status codes
- RT range: Max. 30.00 s, min. 0.1–0.7s, depending on bandwidth

CALIBRATION

External (acoustic): Using the Multifunction Acoustic Calibrator Type 4226, Pistonphone Type 4228 or Sound Calibrator Type 4231

Internal (electrical): Uses internally generated electrical signal combined with keyed-in value of microphone sensitivity
Initial calibration stored for comparison with later calibrations
Initial factory calibration traceable in conjunction with ISO 9001 certification

MEASUREMENT CONTROL

Manual or semi-automatic. Measurements are started manually and can be automatically stored on completion of measurement. The noise generator is turned on and off automatically
With Inst. spectrum on display, the generator can be turned on and off manually for checking

Selected frequency bands can be measured serially, i.e., one by one in automatic sequence. This feature works for the functions L1, L2 and T2 and for single as well as 2 channels

MEASUREMENT DISPLAYS

L1: Shows the spectrum of the level measured in the source room
L2: Shows the spectrum of the level measured in the receiving room. A dimmed curve shows background noise

L1 and L2: 2-channel measurements, L1 and L2 are displayed simultaneously

B2: Shows the spectrum of the background level measured in the receiving room. A dimmed curve shows the L2 level

T2: Shows the spectrum of reverberation times (T20 or T30) measured in the receiving room. Also, decay curve can be shown for each centre frequency

Spectrum: Octave or 1/3-octave band spectrum. Y-axis can be zoomed

dB(A): Instantaneous level is shown as a column next to the spectrum, with cursor read-out. Single-channel only
The graphical displays have cursor read-out facilities

DISPLAY RESOLUTION

Levels: 0.1 dB

Reverberation Time: 0.01 s

RESULT DISPLAY

Shows the sound reduction index (spectrum and weighted) according to the selected standard, along with the reference curve (if any)

STORAGE SYSTEM

Internal disk for storing application software, user-defined setups and measurement data. Setups and data can be recalled for further analysis

Capacity (32MB disk): The supplied application software requires approximately 2MB

Measurement data space requirements: 65 kB for typical Job (one partition)

Application Card: For installation of application software

External Memory Card: For Store/Recall of measurement data and transfer of data to and from a PC (SRAM or ATA flash cards)

MS-DOS®: Compatible file system (from Ver. 3.3)

SERIAL PRINTER/OUTPUT

Setups and measurement data can be printed on an IBM® Proprinter® (or compatible) or a Portable Printer Type 2322. The formats can be screen dumps or tables
Measurement data can be output in spreadsheet format for post-processing on a PC

REMOTE/LOCAL

Transfer of measurement data in binary form to a PC for use with Brüel & Kjær Type 7830 application software

Transfer time to 7830: 30 s for typical Job.

Baud Rates: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400 and 115200

HELP

Concise context-sensitive help for keys and menus

LANGUAGES

All software available in English, German, French, Italian, Spanish and Czech

DISPLAY

Update Rate: Instantaneous – typically 5 times per second

AUXILIARY OUTPUTS

Aux. 1: noise generator output

Aux. 2: 'Input' signal monitor output

can be set to either monitor 'Input' signal with variable attenuation from 0 to –80 dB in 1 dB steps, or can be switched Off to reduce power consumption

AC INPUTS/OUTPUTS

Signal Output: Buffered, unweighted microphone signal

Signal Input: From an external source such as a tape recorder
See also specifications in platform manual

SETTLING TIME

From Power On: Approx. 25s

EFFECT OF VIBRATION

Less than 72 dB for a 50 Hz vibration at a level of 1 m/s²

EFFECT OF TEMPERATURE

Operation: <0.5 dB from –10°C to +50°C (+14°F to +122°F)

Storage (without batteries): –20°C to +70°C (4°F to +158°F)

EFFECT OF MAGNETIC FIELDS

80 A/m (1 Ørsted) at 50 Hz causing a reading of:

63 Hz Octave-band filter: <30 dB

EFFECT OF HUMIDITY

Operation: <0.5 dB for 30% < RH < 90% (at 40°C and 1 kHz)

Storage: Cool, dry environment recommended to avoid formation of mould etc.

BATTERIES

Type: 6 × LR14/C-size 1.5 V alkaline, QB 0009

Lifetime (at 20°C): 8 hours of typical use (decreases significantly at low temperatures)

EXTERNAL DC POWER SUPPLY

Voltage: Regulated or smoothed 10 to 14 V, maximum ripple 100 mV

Power: 3.5 W, current: 300 mA, Inrush current: 1000 mA

Socket: Ø5.5 mm with Ø2 mm pin (positive)

WEIGHT

1.2 kg including batteries, Input Stage ZC 0026 and Prepolarized Free-field 1/2" Microphone Type 4189

DIMENSIONS

375 × 120 × 52 mm including Input Stage ZC 0026 and Prepolarized Free-field 1/2" Microphone Type 4189

Specifications – Investigator Type 2260-G

Please refer to the sections in 2260-D Specifications relevant for Reverberation Time measurements.

Specifications – Qualifier Type 7830

STANDARDS

See Tables 1 and 2

LANGUAGES

English, French and German

PLATFORM

32-bit software for Windows® 2000/XP

VIEWS

- **Result level views:**
A collection of views showing the resulting single values, reduction curve and underlying average curves (L1, L2, B2 and T20/T30)
- **Average level views:**
Each of the parameters L1, L2 and B2 has a corresponding view showing all of the measurement curves included in the average calculation and a view of the resulting average curve
In T20/T30 average mode it is possible to see all of the T20/T30s included in the average calculation. In ensemble average mode it is possible to see the averaged 3D and averaged single frequency decay curves. Both modes gives the user the ability to see the resulting T20/T30 spectrum
- **Position level views:**
Each of the level measurements (L1, L2 and B2) can be viewed as a spectrum. In addition, the T2 reverberation measurement can be viewed as 3D-multispectra and as single frequency decay curves. Furthermore it is possible to see the calculated T20/T30 spectrum
- **Data sheets:**
All of the measurement and the most relevant intermediate and final results can be viewed as values in a table (not decays)

CURSOR READ-OUT:

All curves have cursor read-out

MANUAL INPUT

Allows graphical input and modification of the regression line in reverberation decay curves. Calculated sound reduction curves can also be adjusted graphically (The impact on the single value index is shown simultaneously). To give maximum flexibility, position, average and calculated data can be overridden by manually inputting data in the data sheets

CALCULATIONS

Supports calculation of insulation and reverberation tasks. Insulation calculations include airborne and impact sound insulation (lab/field). In addition, airborne facade calculation is supported.

REPORT GENERATION

Based on document templates it is possible to make reports conforming to the supported standards

OUTPUT

Relevant views and sheets can be printed or exported to the clipboard
Text or graphs may be transferred to word processors in RTF (Rich Text Format)

HELP

On-line context-sensitive and user-guide

DATA TRANSFER

The software accepts data from the Investigator Type 2260:

- Via RS-232 serial interface. Speeds from 1200 bps to 115200 bps
- Via PC-card

RECOMMENDED COMPUTER

Pentium® III (or equivalent) PC, 256 MB RAM, SVGA graphics display/adaptor, sound card, CD ROM drive, mouse, USB and Windows® XP

Note: A PC-card slot is necessary to make PC-card data transfers

Specifications – Qualifier Light Type 7831

Please refer to the section in Qualifier Type 7830 specifications relevant to Reverberation Time

Ordering Information

Type 2260-D Investigator (with Building Acoustic Software BZ-7204)
Type 7830 Qualifier

Type 2260-G Investigator (with Room Acoustics Software BZ-7207)
Type 7831 Qualifier Light

Accessories included with Type 7830/7831:
Software Pack (CD-ROM)
Security Key

Accessories included with Type 2260-D and 2260-G:
Type 4189 Prepolarized Free-field ½" Microphone
ZC-0026 Input Stage
ZF-0023 20 dB Capacitive Attenuator
UA-1236 Protective Cover
DH-0696 Wrist Strap
KE-0342 Shoulder Bag (with room for 2260-D and 4231)
6 × QB-0009 1.5 V LR 14/C size alkaline cells
BZ-5298 Software Pack (CD-ROM) for installation of application software

Literature:
BP 1689 Sound Sources for Building Acoustics Product Data

Optional Accessories

Software

BZ-7204-100 Upgrade to latest version of BZ-7204
BZ-7204-00 Upgrade from BZ-7207 to BZ-7204

7830-X-100 Upgrade from Qualifier Light to Qualifier

Calibration

Type 4226 Multifunction Acoustic Calibrator
Type 4228 Pistonphone
Type 4231 Sound Calibrator (fits in KE-0342)
2260-CAI Accredited Initial Calibration of Type 2260

Interfacing

Type 2322 Portable Printer
AO-1442 9-pin to 25-pin Interface Cable for use with PC or serial printer
UL-1008 32 Mbyte Memory Card

Mains Power Supplies

ZG-0386 EU Version
ZG-0387 UK Version
ZG-0388 US Version

Measuring

UA-0237 Large Round Windscreen
UA-0459 Small Round Windscreen
UA-0587 Tripod
UA-1317 Microphone Holder
AO-0440 AC Input/output Cable
AO-0441 3 m Microphone Ext. Cable
AO-0442 10 m Microphone Ext. Cable
JP-1041 Dual 10-pole Adaptor
ZC-0026 Preamplifier for 2260
Type 4189 Prepolarized Free-field ½" Microphone
AR-0199 10-pin Flat Cable
AO-0522 Headphones Adaptor
UA-0801 Microphone Tripod
Type 3207 Tapping Machine
Type 4292 OmniPower Sound Source with Tripod
Type 2716 Power Amplifier
KE-0358 Flight Case
AO-0523 10 m Cable from 2260 to 2716
AQ-0667 Bridging Cable for 2716 output
AQ-0673 10 m Cable from 2716 to 4296

Note: For sound sources, please see separate Product Data BP 1689



TRADEMARKS

Microsoft, Windows, Windows and MS-DOS are registered trademarks of Microsoft Corporation in the United States and/or other countries
IBM and Proprinter are registered trademarks of International Business Machine Corporation

Brüel & Kjær reserves the right to change specifications and accessories without notice

HEADQUARTERS: DK-2850 Nærum · Denmark · Telephone: +45 4580 0500
Fax: +45 4580 1405 · www.bksv.com · info@bksv.com

Australia (+61) 2 9889-8888 · Austria (+43) 1 865 74 00 · Brazil (+55) 11 5188-8161
Canada (+1) 514 695-8225 · China (+86) 10 680 29906 · Czech Republic (+420) 2 6702 1100
Finland (+358) 9-521 300 · France (+33) 1 69 90 71 00 · Germany (+49) 421 17 87 0
Hong Kong (+852) 2548 7486 · Hungary (+36) 1 215 83 05 · Ireland (+353) 1 807 4083
Italy (+39) 0257 68061 · Japan (+81) 3 5715 1612 · Republic of Korea (+82) 2 3473 0605
Netherlands (+31) 318 55 9290 · Norway (+47) 66 77 11 55 · Poland (+48) 22 816 75 56
Portugal (+351) 21 41 69 040 · Singapore (+65) 6377 4512 · Slovak Republic (+421) 25 443 0701
Spain (+34) 91 659 0820 · Sweden (+46) 33 225 622 · Switzerland (+41) 44 880 7035
Taiwan (+886) 2 2502 7255 · United Kingdom (+44) 14 38 739 000 · USA (+1) 800 332 2040

