



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Evaluación del acondicionamiento acústico del comedor de
alumnos de la ENM y definición de alternativas técnicas para
mejorar el confort sonoro del recinto.*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Andrés Romero Sánchez

DIRECTORES: Francisco Javier Rodríguez Rodríguez

Arturo González Gil

CURSO ACADÉMICO: 2017-2018

UniversidadeVigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Evaluación del acondicionamiento acústico del comedor de
alumnos de la ENM y definición de alternativas técnicas para
mejorar el confort sonoro del recinto.*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

La calidad acústica en los recintos, se puede evaluar mediante la medición y diagnóstico de una serie de magnitudes. El parámetro fundamental es el Tiempo de reverberación (T_r), relacionado con la persistencia temporal de la energía acústica proveniente de los focos sonoros.

Las elevadas dimensiones del recinto comedor de alumnos de la ENM y las reducidas propiedades absorbentes del sonido de sus acabados, que poseen un carácter muy reverberante y, por tanto, una calidad sonora interior susceptible de ser mejorada. El presente TFG evalúa el acondicionamiento acústico actual del recinto (según la norma de medición “in situ” UNE EN ISO 3382-2 y también mediante directrices del Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico DB-HR) y aporta posibles alternativas técnicas de mejora. A modo orientativo, se ha de considerar que el Código Técnico de la Edificación, exige, desde su entrada en vigor, que los proyectos de ejecución cumplan el requisito de un Tiempo de reverberación no superior a 0,9 segundos en recintos destinados a comedores.

Por otra parte, la tendencia a mejorar las condiciones acústicas de edificios patrimoniales o históricos obliga al empleo de alternativas o soluciones no usuales que generen un impacto visual reducido en las características estéticas de los elementos estructurales propios de tales recintos. Con todo ello, se redacta un informe tipo acústico según una Oficina Técnica.

PALABRAS CLAVE

Acondicionamiento acústico, Tiempo de reverberación (T_r), focos sonoros, Código Técnico de la Edificación.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer a lugar a mis compañeros de camareta por todas esas horas con flexos encendidos y de insomnio que ayudaron a reducir las ansias de conciliar el sueño, favoreciendo la redacción de este trabajo, así como, esas alarmas en la mañana que favorecían el comenzar el día de manera anticipada.

A la Promoción 148 por ayudarme en la desconexión en esos momentos de mayor estrés, por acompañarme a León (toda una gélida aventura) y en especial, por comprender el esfuerzo que este trabajo conlleva.

Y como no, agradecer la labor de mis tutores, los verdaderos artífices de este TFG, D. Francisco Javier Rodríguez Rodríguez y D. Arturo González Gil, piezas fundamentales, sin los cual no hubiera conseguido redactar ni una mínima parte de lo que a día de hoy compone este trabajo, mostrando interés y, por supuesto, un gran conocimiento sobre la materia.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Motivación y objetivos	7
1.1 Motivación	7
1.2 Objetivos	7
1.3 Metodología	8
2 Estado del arte	9
2.1 Conceptos previos	9
2.1.1 Generación de la onda acústica.....	9
2.1.2 Magnitudes físicas relacionadas con la energía del sonido: La presión sonora	10
2.1.3 Cuantificación del nivel de presión sonora: Escala decibelios A (dBA).....	12
2.1.4 Espectro de frecuencias de un sonido: Bandas de octava.....	13
2.1.5 Sonido directo y reflejado.....	14
2.1.6 Aislamiento y acondicionamiento acústico	17
2.1.7 Comportamiento de los rayos acústicos al incidir en superficies	18
2.1.8 El Tiempo de reverberación (Tr)	19
2.1.9 Otros parámetros de calidad acústica de recintos: La Inteligibilidad de la palabra.....	21
2.1.10 Absorción acústica y sus mecanismos.....	23
2.2 Acústica en recintos destinados al uso de comedores.....	29
2.2.1 Problemática del ruido generado	29
2.2.2 Normativa y criterio de calidad de Tiempo de reverberación adecuado	29
2.2.3 Ejemplo de acondicionamiento en recinto destinado a restaurante	32
3 Caso de estudio: Comedor de alumnos de la ENM.....	35
3.1 Descripción del recinto	35
3.2 Caracterización del comportamiento acústico actual del recinto.....	40
3.2.1 Predicción del Tiempo de reverberación mediante el método de cálculo general del DB- HR	40
3.2.2 Medición “in situ” del Tiempo de reverberación según norma UNE EN ISO 3382	44
3.2.3 Diagnóstico: Análisis de los resultados obtenidos.....	48
3.3 Propuesta de mejora para incrementar el confort acústico	49
3.3.1 Análisis de las posibles alternativas	50
3.3.2 Diagnóstico de variables: Solución óptima	57

4 Conclusiones y líneas futuras	65
4.1 Conclusiones	65
4.2 Líneas futuras	66
5 Bibliografía.....	67
Anexo I: Glosario	69
Anexo II: Ejemplos de catálogos comerciales	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Evolución de la presión sonora total P_T en función del tiempo en un punto cualquiera del espacio. [1]	11
Figura 2-2 Zonas de compresión y dilatación de las partículas de aire en la propagación de una onda sonora. [2].....	11
Figura 2-3 Representación gráfica de reducción del espectro en dB. [2].....	12
Figura 2-4 Niveles de presión sonora en dB de diferentes focos sonoros. [3].....	13
Figura 2-5 Bandas de frecuencias de instrumentos musicales y de la voz. [1]	14
Figura 2-6 Superposición de sonidos con diferentes retardos e impresión subjetiva asociada. [1] .	15
Figura 2-7 Ecograma asociado a un receptor con indicación del sonido directo, las primeras reflexiones y la cola reverberante. [1].....	16
Figura 2-8 Ejemplo de llegada de sonido directo y primeras reflexiones a un receptor. [1]	16
Figura 2-9 Esquema del proceso energético. [2].....	17
Figura 2-10 Reflexión especular de un sonido sobre una superficie. [1]	18
Figura 2-11 Ejemplo de difracción acústica frente a un obstáculo. [1].....	19
Figura 2-12 Esquema de un resonador. [3]	26
Figura 2-13 Clasificación de coeficientes de absorción según la norma ISO 11654. [6]	28
Figura 2-14 Posiciones de fuente y de medición empleadas. [1]	33
Figura 2-15 Resultados obtenidos en las mediciones iniciales y finales. [1]	33
Figura 3-1 Imagen de la fachada del edificio Marqués de la Victoria. [9].....	35
Figura 3-2 Puerta principal del comedor de alumnos.....	36
Figura 3-3 Fotografía de los separadores empleados en el comedor.	36
Figura 3-4 Área destinada al uso de comedor, para dotación y profesores de la ENM.	36
Figura 3-5 Planta del comedor de alumnos de la ENM proporcionado por la secretaría de mantenimiento.....	37
Figura 3-6 Mesa presidencial, situada sobre un entarimado de madera.....	37
Figura 3-7 Detalle del suelo del comedor.	38
Figura 3-8 Detalle de los diferentes paramentos del comedor.	38
Figura 3-9 Línea de servicio.....	39
Figura 3-10 Ventanales en la línea de servicio.....	39
Figura 3-11 Detalle de una de las dos grandes superficies especulares.	39
Figura 3-12 Transición de materiales en el techo.....	40
Figura 3-13 Arcos abovedados del comedor de alumnos.....	40
Figura 3-14 Esquema de posiciones empleadas para el ensayo “in situ” y sus puntos de fuentes sonora. Elaboración propia.	46

Figura 3-15 Imagen del proceso de toma de datos.	46
Figura 3-16 Representación gráfica de los diferentes resultados obtenidos.	47
Figura 3-17 Representación gráfica del Tiempo de reverberación promedio derivado de los resultados.	48
Figura 3-18 Sonómetro Brüel & Kjaer, modelo 2260. [13]	48
Figura 3-19 Elementos presentes durante la toma de muestras.....	49
Figura 3-20 Características técnicas de un panel absorbente perforado de la marca <i>Decustik</i> . [14]	50
Figura 3-21 Panel <i>Gustafs</i> perforado. [15]	51
Figura 3-22 Elementos fonoabsorbentes. [16]	51
Figura 3-23 Tipos de instalación de paneles para falsos techos. [2]	52
Figura 3-24 Acabado de un techo tratado con celulosa proyectada. [17]	52
Figura 3-25 Coeficientes de absorción de celulosa proyectada <i>Sonaspray</i> . [18]	53
Figura 3-26 Instalación de un suelo con beneficio para acondicionamiento acústico. [19].....	54
Figura 3-27 Detalle de condiciones de medición en laboratorio según la Norma EN ISO 354. [20]	55
Figura 3-28 Resultados obtenidos en un ensayo en cámara reverberante de una cortina tipo <i>Streamer Pro</i> . [20]	55
Figura 3-29 Modelo de cortina <i>Streamer Pro</i> , bajo estudio en una cámara reverberante. [20]	55
Figura 3-30 Esquema ilustrativo de cortinas absorbentes. [22]	56
Figura 3-31 Ejemplo de cuadro acústico en un restaurante. [22]	57
Figura 3-32 Paneles separadores acústicos. [22].....	57
Figura 3-33 Elementos fonoabsorbentes propuestos. [16]	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Requerimientos establecidos por el DB-HR para el de Tiempo de reverberación. [2]....	21
Tabla 2-2 Índice de Inteligibilidad de la palabra. [4]	23
Tabla 2-3 Resultados obtenidos a un ensayo en cámara reverberante de una lana de roca. [7].....	28
Tabla 2-4 Diferencias acogidas por el DB-HR en relación al NBE-CA-88. [2]	31
Tabla 3-1 Coeficientes de absorción a 500, 1k y 2k Hz y su valor medio. [10]	41
Tabla 3-2 Ficha de cálculo teórico del recinto vacío.....	42
Tabla 3-3 Ficha de cálculo teórico del recinto con su material textil.....	43
Tabla 3-4 Número de posiciones mínimas a establecer por cada método. [12]	44
Tabla 3-5 Resultados obtenidos de los ensayos “in situ” para diferentes frecuencias y posiciones de medición.....	47
Tabla 3-6 Efectos del plenum y el vuelo en un mismo material textil. [21]	56
Tabla 3-7 Ficha de cálculo teórico del recinto añadiendo material fonoabsorbente.	59
Tabla 3-8 Presupuesto de instalación de elementos fonoabsorbentes. [23]	60
Tabla 3-9 Ficha de cálculo teórico del recinto añadiendo material textil.	61
Tabla 3-10 Ficha de cálculo teórico del recinto con la propuesta óptima.....	62
Tabla 3-11 Correspondencia del número de focos emisores con su influencia en el Nivel sonoro resultante. [2]	63
Tabla A1-1 Ponderaciones para distintas frecuencias.....	70
Tabla A1-2 Ejemplo de aplicación de ponderaciones para distintas frecuencias.....	70
Tabla A1-3 Correspondencia de ponderación A.	71

1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación

Un recinto destinado al uso de comedor, debe garantizar una serie de condiciones enfocadas a la comodidad y confort de los comensales. Es por ello que requieren de unos materiales de acabado especiales para su diseño y construcción, gracias a los cuales el nivel de ruido provocado a partir de la actividad humana, no resulte pernicioso para la comunicación y la salud de las personas.

En nuestro caso el comedor de alumnos de la ENM cuenta con una problemática que queda patente en aspectos tales como la Inteligibilidad de la palabra y la fatiga nerviosa producida por la continua y elevada exposición a un nivel perjudicial de ruido, todo ello relacionado con un factor determinante como es el Tiempo de reverberación. Todo ello, reduce considerablemente la capacidad de relajación del personal, y, en especial, la comunicación entre los comensales. Entre los principales factores causantes de esta problemática podemos señalar aspectos como el empleo de materiales constructivos, que, aunque de noble y buen acabado estético, no son destinados a este uso, acompañado, además, de su gran volumen de habitabilidad.

1.2 Objetivos

El objeto de este trabajo de fin de grado reside, entre otros, en la evaluación del acondicionamiento del recinto, desde el punto de vista acústico, así como, el estudio y presentación de alternativas que adecuen su comportamiento frente a diferentes situaciones acústicas. Todo ello, además, debe realizarse, sin dejar de atender a factores estéticos, como son el carácter noble de sus materiales, o la importancia del aspecto histórico que el comedor de alumnos de la ENM posee.

Para llevar a cabo estas valoraciones debemos tener en cuenta aquellos valores que exige actualmente la normativa, apoyándonos principalmente en el Código Técnico de la Edificación, concretamente en su Documento Básico “protección frente al ruido” (en adelante DB-HR). De este modo conseguiremos valores de evaluación de comportamiento tanto teóricos como mediciones “in situ”, volcadas a través de software, contando con el Tiempo de reverberación como nuestro factor determinante de estudio y diagnóstico.

Recaltar, que la actual normativa, no contempla la necesidad de cumplir con los requisitos que esta dicta en términos de Tiempo de reverberación, menor o igual a 0,9 en espacios destinados a comedores, como es el caso del comedor de alumnos de la ENM puesto que su construcción es anterior a la citada normativa; no obstante, consideramos necesario el conocimiento de su carácter acústico, la

comparativa con el límite de aplicación normativa para recintos de este uso de nueva ejecución y proponer alternativas de mejora.

1.3 Metodología

La forma de proceder en este estudio implica estructurar el presente trabajo en 5 capítulos.

En primer lugar, se procederá a realizar un análisis del estado del arte para abordar y profundizar en ciertos factores condicionantes que es necesario conocer para posteriormente dar paso al cuerpo de este trabajo.

Una vez desarrollado el apartado anterior se focalizará la atención en la investigación acerca de la problemática que presenta el acondicionamiento acústico en recintos destinados a uso de comedor y caracterizaremos mediante ensayos “in situ” y también con procedimientos de cálculo del Tiempo de reverberación del comedor de alumnos de la ENM.

En este apartado se propondrán las diferentes propuestas técnicas que solventan la problemática de confort detectada.

Posteriormente, se reflejarán las conclusiones acordes con nuestros objetivos establecidos con anterioridad y propuestas relacionadas con el tema abordado a modo de líneas futuras.

Finalmente se recogerá la bibliografía empleada en nuestro trabajo y una sección de anexos, entre los cuales se incluirá un glosario de términos que faciliten la comprensión del trabajo y unos catálogos comerciales de elementos absorbentes acústicos.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Conceptos previos

Para la comprensión del trabajo se considera imprescindible proceder a la definición de ciertos conceptos y aspectos referentes al tema acústico, los cuales nos lleven a entender, de mejor manera, tanto la problemática de nuestro recinto de estudio como su posterior acondicionamiento.

2.1.1 Generación de la onda acústica

En primer lugar, resulta obligado definir el fenómeno al cual se va a referir, en prácticamente la totalidad, este estudio, el sonido; pues, pese a ser conocido, resulta una palabra que cuenta con numerosas definiciones. Adoptaremos para nuestro trabajo la siguiente definición: “Vibración mecánica que se propaga, de manera longitudinal, a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire), y que es capaz de producir una sensación auditiva” [1]. Es, por tanto, un fenómeno, muy diferente al de la luz, la cual sí puede propagarse en el vacío y, por otro lado, el sonido puede asociarse con un estímulo físico producido al recogerse las vibraciones en el tímpano.

Una vez definido este fenómeno, pasaremos a ver como se produce y se propaga en el medio de forma más detenida. El elemento inductor del sonido es denominado fuente sonora. Para la generación de un sonido solo tenemos que actuar sobre esta fuente sonora, haciendo que vibre. Esta vibración induce una interacción con la capa de partículas de aire que le rodea, perturbando, comprimiendo y dilatando, su atmósfera circundante. De este modo, como si de un efecto dominó se tratase, la perturbación de partículas, se propaga en el medio, con la particularidad de que no son las partículas las que se propagan en este movimiento, sino que solo se dedican a oscilar sobre su posición de equilibrio, al igual que ocurriría en un movimiento armónico simple (MAS), siendo la energía y el momento lineal los que si establecen un desplazamiento solidario a la onda.

La oscilación que llevan a cabo estas partículas tiene lugar en la misma dirección en la que se propaga la onda, y solo cuando esta perturbación se convierte en audible es cuando surge el término onda sonora longitudinal. Para alcanzar este grado la amplitud de presión acústica (A), que se corresponde al valor de la máxima separación de la partícula en vibración con su posición de equilibrio, debe superar un valor límite y, además, el rango de frecuencias encontrarse entre 20 Hz y los 20 KHz; siendo estas perturbaciones, entonces, captadas por el oído e interpretadas por el cerebro, a través de estímulos nerviosos. Esta onda sonora, tiene carácter tridimensional y se propaga como un frente de ondas, denominado así al lugar geométrico de los puntos del medio que son alcanzados en un mismo instante por la perturbación.

En la realidad, los fenómenos de movimiento o vibración de un cuerpo no generan una única perturbación, sino que inducen con gran rapidez un conjunto de perturbaciones sucesivas que al propagarse originan ondas acústicas

La propagación de esta onda sonora, tal y como por definición vimos, depende de un medio elástico y denso. Estos factores pueden verse modificados por el estado del medio, ya sea sólido, líquido o gaseoso, y, por otro lado, por la influencia de la temperatura. Así pues, una onda sonora, en condiciones de atmósfera gaseosa (aire), y con una presión de una atmósfera, tendría una velocidad de propagación de unos 344 m/s a unos 22°C, variando en unos 0,6 m/s por cada grado centígrado que se varíe. La expresión de esta velocidad, queda plasmada en la siguiente fórmula:

$$V_s = 1.4 \left(\frac{P_0}{\rho} \right)^{1/2} [2]$$

Siendo:

- V_s representa la velocidad de propagación.
- P_0 equivale a la presión atmosférica.
- ρ se corresponde con la densidad del medio.

Considerando las mismas condiciones, pero en un medio acuoso, la velocidad de propagación se eleva hasta los 1450 m/s, debido a la mayor proximidad de las partículas en el medio acuático comparada con la del aire. Deduciéndose, por tanto, la importancia de la proximidad de partículas del medio para el cálculo de velocidades de propagación.

2.1.2 Magnitudes físicas relacionadas con la energía del sonido: La presión sonora

Relacionado con la energía del sonido pueden deducirse hasta tres magnitudes físicas presentes en el sonido. Estas según [2]:

- a) **Potencia sonora (W):** Cantidad de energía sonora emitida (o radiada) por una determinada fuente sonora. Su valor no depende del punto del espacio en que se mide ni de las condiciones del recinto en que se localiza el foco sonoro. Es una magnitud intrínseca o característica de la fuente sonora. La potencia sonora se expresa en vatios (W).
- b) **Intensidad sonora (I):** Valor medio de la energía acústica que fluye en la unidad de tiempo a través de una superficie unidad situada perpendicularmente a la dirección de propagación de las ondas sonoras; es decir, potencia acústica media radiada por unidad de superficie. Es una magnitud dependiente de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar en que se encuentre (en campo abierto, sin obstáculos, o en un recinto cerrado). La intensidad sonora se expresa en W/m^2 .
- c) **Presión sonora (P):** Representa el 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 lugar en que ésta se encuentre (en campo abierto, sin obstáculos, o en un recinto cerrado). La presión sonora se expresa en pascles (Pa) o N/m^2 .

La manera más habitual de expresar cuantitativamente la magnitud del campo sonoro se realiza mediante la presión sonora, que también puede identificarse como la fuerza que ejercen las partículas por unidad de superficie.

Tal y como se identifica en la Figura 2-1, se puede observar la evolución de la presión (P_T), en función del tiempo, en un punto situado a una distancia concreta de la fuente emisora. Esta presión, que es absoluta, tiene añadido el valor de la presión atmosférica presente en dicho punto.

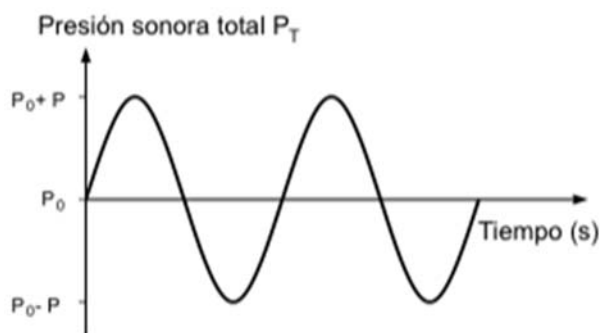


Figura 2-1 Evolución de la presión sonora total P_T en función del tiempo en un punto cualquiera del espacio. [1]

A consecuencia de la variación de presiones, se contemplan incrementos y disminuciones periódicas de presión respecto al punto de equilibrio, el cual representa el punto de presión atmosférica estática (P_0). Estas variaciones se deben a dos procesos, conocidos como compresión (o condensación) y dilatación (también llamados rarefacción o rarificación).

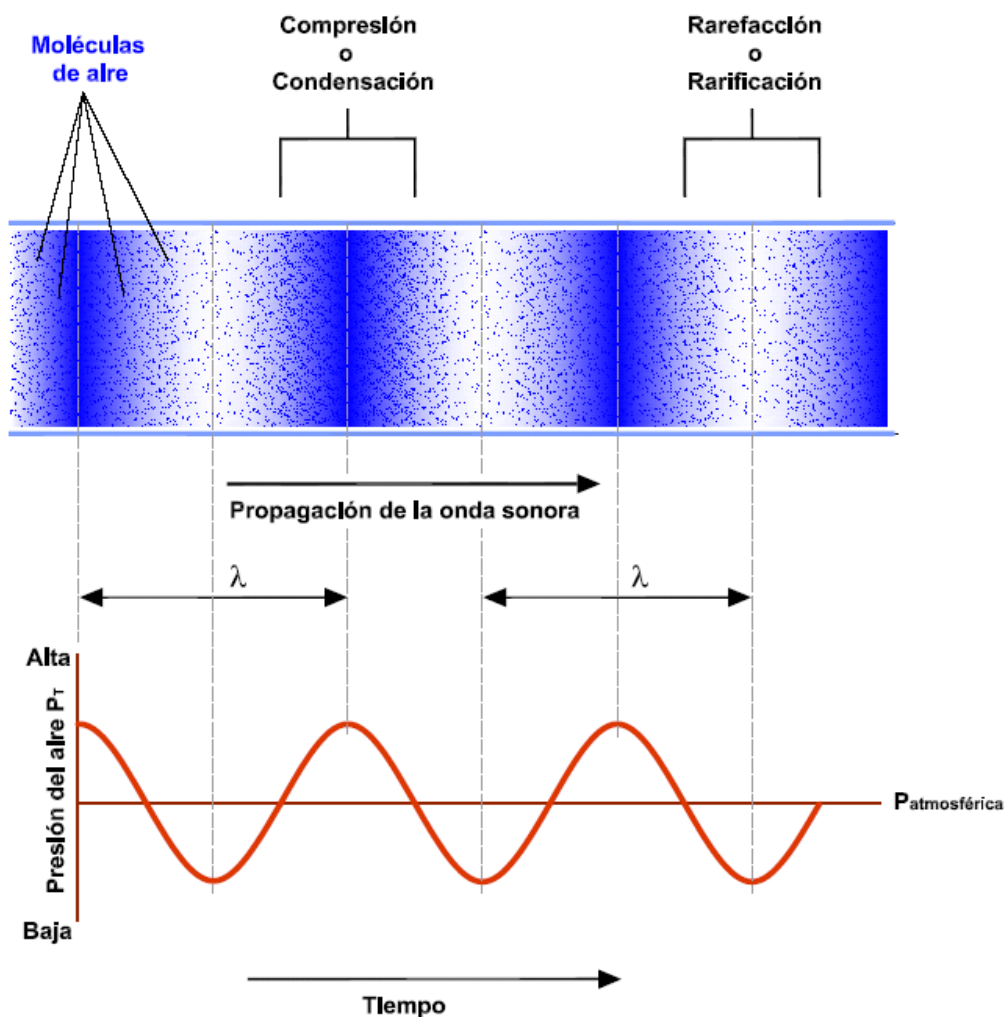


Figura 2-2 Zonas de compresión y dilatación de las partículas de aire en la propagación de una onda sonora. [2]

Otro término íntimamente relacionado con el concepto de perturbación, es el de longitud de onda, la cual se representa por la letra lambda (λ), y es el componente que determina la distancia entre dos compresiones, o rarefacciones, consecutivas.

2.1.3 Cuantificación del nivel de presión sonora: Escala decibelios A (dBA)

Pese a que, hasta ahora, nos hemos referido a la presión sonora como magnitud física, la propia naturaleza del oído humano, el cual capta un amplio espectro de sensibilidad, desde la muy débil variación de compresión hasta un nivel considerablemente alto en las variaciones de presión, precisa de una escala adecuada para su estudio en un margen más reducido y asequible para el uso en cálculos. Por otro lado, el oído humano posee una respuesta logarítmica y no aditiva. Esto se corresponde con que el nivel de presión sonora que capta el oído para duplicarse en sensación sonora debe elevarse el número de fuentes, todas ellas idénticas, hasta diez veces superior, y no solo dos, como podría deducirse erróneamente.

Todo este planteamiento lleva a deducir la idoneidad de aplicar una escala de carácter comparativo, como es el caso del decibelio (dB). Estas expresiones resultan de establecer una expresión matemática:

$$L(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right) = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) [2]$$

Donde:

- P equivale al nivel de presión acústica.
- P_0 se corresponde con la presión acústica mínima perceptible por el oído humano.

De este modo, queda cuantificada una magnitud, comparándola con la mínima perceptible, siendo esta escala mucho más reducida y manejable, siendo de gran ayuda para el estudio acústico.

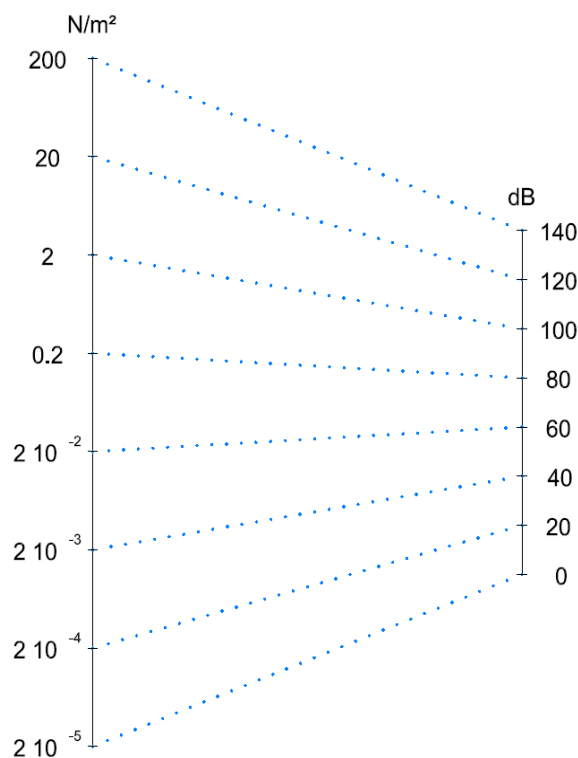


Figura 2-3 Representación gráfica de reducción del espectro en dB. [2]

Nivel	Fuente emisora
140 dB	Umbral del dolor
130 dB	Avión despegando
120 dB	Motor de avión en marcha
110 dB	Concierto
100 dB	Herramientas eléctricas
90 dB	Trafico
80 dB	Tren
70 dB	Electrodomésticos
50/60 dB	Aglomeramiento de gente
40 dB	Conversación
20 dB	Biblioteca
10 dB	Ruido en el campo
0 dB	Umbral de la audición

Figura 2-4 Niveles de presión sonora en dB de diferentes focos sonoros. [3]

2.1.4 Espectro de frecuencias de un sonido: Bandas de octava

Buscando otro aspecto físico fundamental para caracterizar las propiedades de una onda encontramos la frecuencia (f). Este parámetro hace alusión al número de oscilaciones o ciclos completos por unidad de tiempo. En otras palabras, el movimiento que realiza una partícula desde su posición de equilibrio hasta los valores máximos y mínimos de amplitud, y la vuelta a dicho punto de equilibrio en el mismo sentido (es lo que se considera un ciclo o vibración completa). Si extrapolamos este movimiento a una unidad determinada de tiempo obtendremos la frecuencia de dicha perturbación. Así, para un valor de tiempo de un segundo, esta frecuencia se mide en hercios (Hz), que es la unidad del sistema internacional, en honor al físico alemán Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894).

El término frecuencia de sonido coincide, evidentemente, con el de la frecuencia de vibración mecánica al que se expone a la fuente generadora del sonido. Además, la frecuencia sonora puede interpretarse como el número de variaciones de presión por unidad de tiempo, indicando de forma directa la rapidez de vibración.

La frecuencia está implícita en la sensación subjetiva del tono, también conocido como altura, uno de los parámetros que determinan un sonido y por el cual se pueden diferenciar tres intervalos de frecuencias: los tonos graves o de baja frecuencia, los agudos o altas frecuencias y los medios o medias frecuencias. Cómo por definición obtenemos que una onda es la propagación de una perturbación al interactuar con las partículas presentes en el medio, podemos inducir que a mayor frecuencia esta interacción será más notable, con lo cual el número de ondas sucesivas generadas, será también mayor.

Así pues, cualquier fuente sonora tiene asociada una frecuencia mínima fundamental y una máxima. Al conjunto de frecuencias englobadas en este margen se le denomina banda.

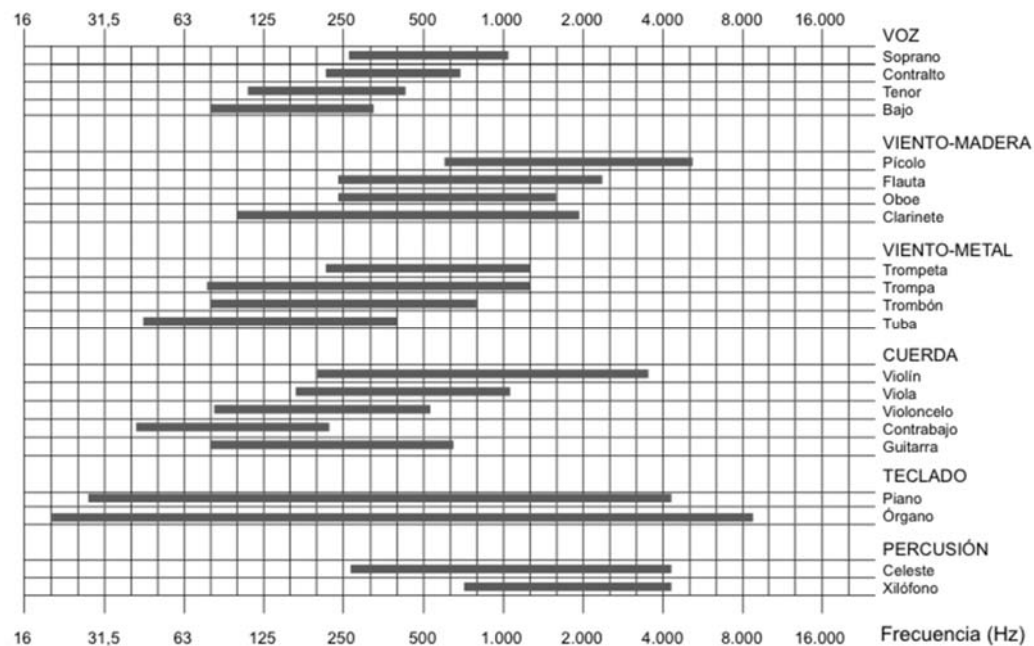


Figura 2-5 Bandas de frecuencias de instrumentos musicales y de la voz. [1]

La gran mayoría de sonidos percibidos no pueden asociarse a una única frecuencia, sino que estos, están constituidos por numerosas frecuencias superpuestas unas con otras, derivadas de la energía acústica que poseen. El sonido más simple es el conocido como tono puro, este tipo de sonido está compuesto por una única frecuencia constante, recogiendo dentro de un espectro de frecuencias como una única línea. El sonido que emite un diapason es de este tipo.

Las bandas más usadas para el estudio acústico son:

- La banda de una octava. Donde la frecuencia más alta es concretamente el doble de la más baja.

$$\frac{f_2}{f_1} = 2$$

Donde: f_2 se corresponde con la frecuencia de mayor magnitud y la de menor con f_1 .

- La banda de 1/3 de octava. Para la cual se divide el espectro de octava en tres partes, y por consiguiente, se consigue la relación:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^{1/3}$$

Por lo que queda una relación constante de un valor de 1,26, aproximadamente.

2.1.5 Sonido directo y reflejado

Una vez producido un efecto vibratorio sobre una fuente emisora y, por tanto, establecida la propagación de un sonido por el medio, este sonido puede ser percibido de dos formas. Una primera, en la cual el sonido llega de forma directa al receptor, componiendo lo que se denomina un sonido directo; y otra segunda forma, a través de un conjunto de reflexiones producidas en los diferentes elementos y superficies que componen un recinto (paredes, suelo o techo, entre otros). A este segundo grupo, se le puede aplicar una segunda subdivisión, diferenciando entre los sonidos reflejados que alcanzan al receptor inmediatamente después de la llegada del sonido directo (las conocidas como

reflexiones tempranas o primeras reflexiones) y reflexiones tardías (que se denominan colas reverberantes).

Claro está que el sonido reflejado se percibe de una manera continua, es por ello que el límite para denotar estos dos subgrupos de sonidos reflejados, quedan, en la práctica, a merced del tiempo que tardan en alcanzar las posiciones del receptor: menor a 100 ms una vez percibido el sonido directo en el caso de las primeras reflexiones, y mayor para el resto. No obstante, este valor temporal de 100 ms, no es constante, puesto que la forma del recinto, volumen y materiales empleados pueden modificar este tiempo de percepción.

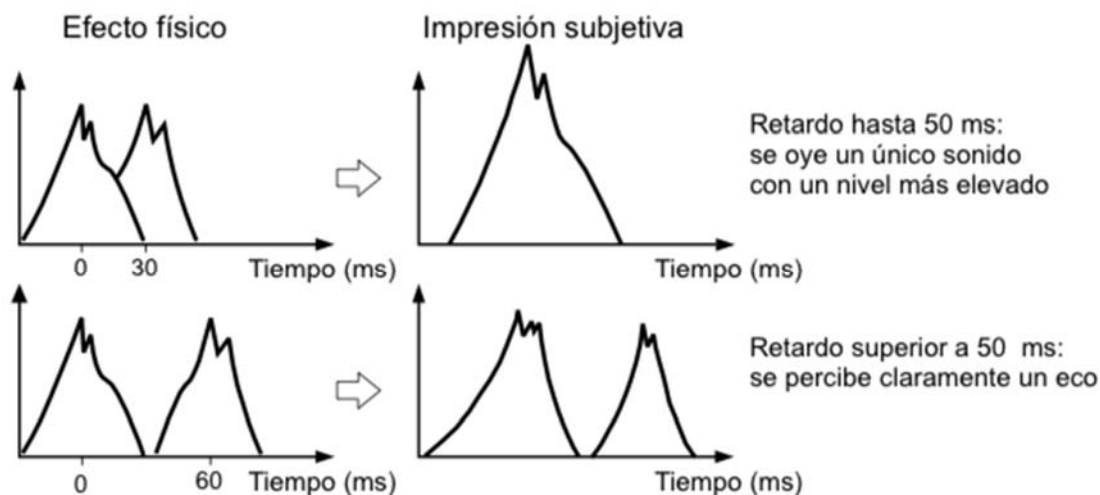


Figura 2-6 Superposición de sonidos con diferentes retardos e impresión subjetiva asociada. [1]

Además, el oído humano no podrá tampoco percibir la diferencia entre sonido directo y reflejado en el margen de los primeros 50 ms, por la propia fisiología del oído humano. De hecho, en estos primeros 50 ms, puede decirse que el sonido es integrado en el oído como un único sonido y, por tanto, mejora, en el caso de una conversación humana, la Inteligibilidad y comprensión del mensaje. Pero, si el sonido es reflejado en los siguientes 50 ms, aproximadamente, el sonido se interpretaría como un eco, y siendo, por tanto, contraproducente en cuanto a la comprensión de éste. Para el caso de un recinto con paredes lisas, paralelas y muy reflectantes, este eco puede permanecer un breve intervalo de tiempo, repitiéndose de manera múltiple en el medio, dando lugar a ecos flotantes y de consecuencias fatales para la comunicación.

En cuanto al concepto teórico en la percepción de estas reflexiones, puede decirse que las primeras reflexiones llegan de forma más discretas que las tardías, debido a que se deben a reflexiones de orden bajo, menor o igual a tres. Se dice que una reflexión es de orden “n” cuando el rayo sonoro asociado ha incidido “n” veces sobre las diferentes superficies del recinto antes de llegar al receptor. [1]

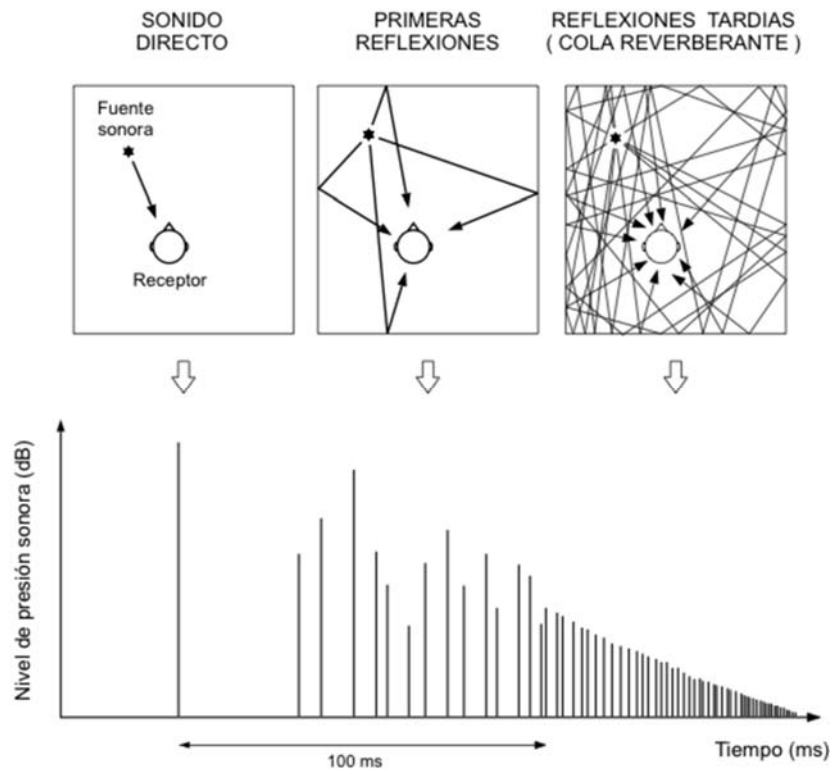


Figura 2-7 Ecograma asociado a un receptor con indicación del sonido directo, las primeras reflexiones y la cola reverberante. [1]

Es evidente, también, el hecho de que el sonido reflejado sufre una atenuación, diferenciándose del sonido directo. Esta atenuación se debe, principalmente, a la absorción que producen las superficies del recinto y los objetos presentes en él.

Es gracias a estos sonidos reflejados (empleando técnicas de medición acústica y un equipo especializado, tal y como marca la norma EN ISO 3382-2) que se pueden obtener datos muy interesantes para la caracterización de un recinto, como puede ser el Tiempo de reverberación.

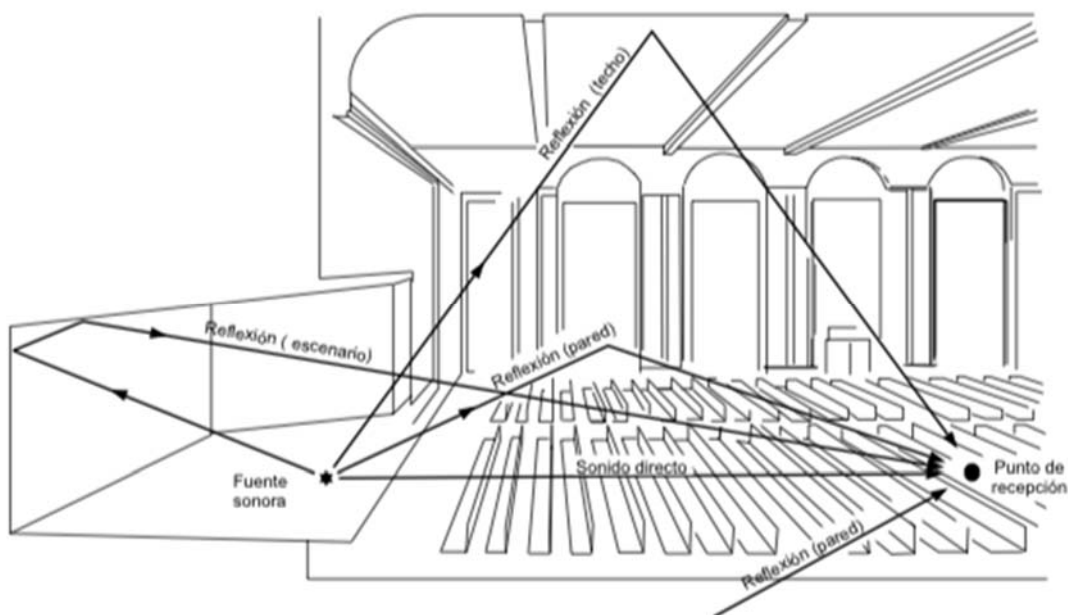


Figura 2-8 Ejemplo de llegada de sonido directo y primeras reflexiones a un receptor. [1]

2.1.6 Aislamiento y acondicionamiento acústico

Al dedicarnos a la construcción y diseño de un recinto se han de tener multitud de factores en cuenta, entre ellos el factor de aislamiento acústico, atendiendo a los diferentes tipos de ruido. Estos ruidos pueden ser de carácter aéreo, de impacto o propio de las infraestructuras. Para cada uno de estos ruidos el aislamiento acústico busca reducir e incluso, en algunos casos, evitar la propagación de sonido de un recinto a otro. Al aparecer cualquier ruido anteriormente mencionado produce, al alcanzar la superficie de un forjado, tabique, o cualquier otro elemento separador en nuestro recinto, que este elemento se transforme en una nueva fuente emisora.

Ante este factor ya conocido, y debidamente estudiado, el DB-HR establece una serie de pautas a realizar para minimizar efectos nocivos en la propagación de sonidos entre recintos; dicho de otro modo, establece unas pautas mínimas de aislamiento exigido.

Al llevar a cabo acciones en el interior de los recintos, con objeto de mejorar las cualidades acústicas de estos, hacemos alusión a su acondicionamiento acústico. Esto permite una mejora del confort y que el recinto, se adecue a las características del cual es objeto, por ejemplo, el hecho de establecer una buena Inteligibilidad de la palabra en un aula.

De este modo podemos hablar de aislamiento al referirnos a la actuación sobre los elementos separadores de un recinto con los colindantes para que los sonidos no se propaguen entre ellos. Por otro lado, el acondicionamiento posee como objetivo de estudio el propio recinto, consiguiendo calidad adecuada en la propagación de sonidos. Para este último apartado, el eco y el Tiempo de reverberación, se hacen factores de vital importancia.

También puede valorarse un comportamiento en el sonido al incidir sobre una superficie, en relación con el aislamiento de un recinto, puesto que un posible efecto es el de la transmisión. Este efecto, es el que explica la propagación de ciertos sonidos, a través de elementos separadores en una edificación.

En cuanto al acondicionamiento acústico, establecido en un recinto, el sonido también puede sufrir de una cierta absorción. Esta será mayor o menor, dependiendo del material empleado, y un factor muy importante en este apartado sería el grado de porosidad del elemento constructivo empleado. Normalmente el efecto obtenido en este caso, es el de un incremento de la temperatura en el material, debido a la absorción de energía, y posterior transformación en energía calorífica.

Así podemos definir el proceso energético presente en la propagación y posterior incidencia de un rayo sonoro con el medio, con la siguiente imagen.

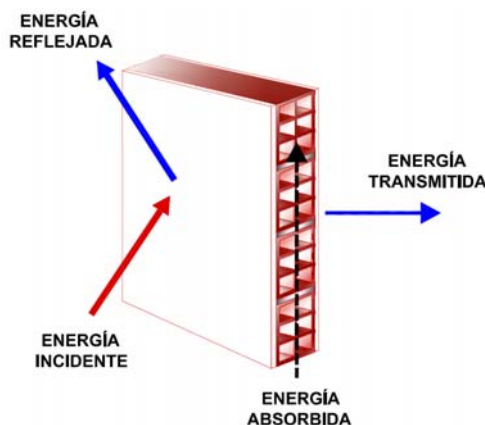


Figura 2-9 Esquema del proceso energético. [2]

Siendo la energía incidente la que porta el rayo sonoro; energía reflejada, la que se produce a partir de la reflexión del rayo; energía disipada, aquella correspondiente a la reducción de energía, principalmente en forma de energía calorífica, como consecuencia de la absorción del material incidido; y, por último, la energía transmitida, la cual aparece como consecuencia de no existir un aislamiento absoluto, y que permite la propagación del sonido en el recinto colindante.

2.1.7 Comportamiento de los rayos acústicos al incidir en superficies

Cuando una fuente sonora produce un sonido, éste se propaga por el medio en todas direcciones y en línea recta, encontrando una reducción en su nivel de energía a lo largo de su propagación por el medio en el que se encuentra y por la distancia entre esta fuente y el punto del receptor. Una vez este haz alcance una barrera, ya sea un objeto, o una superficie que limita el recinto, sufre una modificación brusca de su dirección de propagación y, dependiendo de la naturaleza de este obstáculo, será más o menos importante la energía que este pierde, atendiendo principalmente a tres efectos como son la absorción, la transmisión y la reflexión.

Estos efectos en la propagación del sonido guardan una íntima relación con los términos anteriormente citados en el apartado 2.1.6, pues dependiendo de un mayor o menor acondicionamiento acústico el nivel de sonido reflejado obrará en consecuencia. El nivel de sonido reflejado, puede estudiarse transformando el comportamiento de una onda acústica en un rayo de luz incidiendo en una superficie especular, dando validez a la ley de la reflexión. Esta forma de analizar el sonido da lugar a la denominada acústica geométrica.

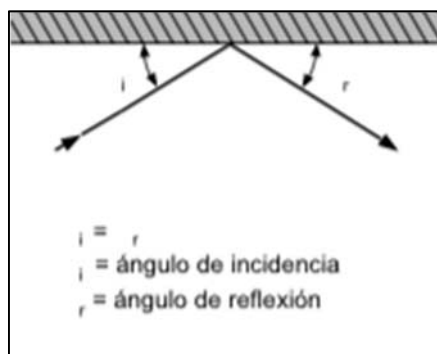


Figura 2-10 Reflexión especular de un sonido sobre una superficie. [1]

Pero esta hipótesis no es más que una aproximación a la realidad, siendo adecuada en un mínimo número de casos, los cuales, requieren de un recinto relativamente grande en dimensiones, frente a la longitud de onda del propio haz a estudiar, y de una superficie muy lisa y reflectante. Para otros casos el rayo sonoro sufrirá una refracción.

Para poder cumplir con esta hipótesis se deberían de presentar las siguientes situaciones:

- Dimensiones grandes en comparación con la longitud de onda del sonido en consideración.
- Superficie lisa y muy reflectante (poco absorbente).

En caso de que las dimensiones sean menores o similares a la longitud de onda del sonido, esta procedería a rodear la superficie y seguir propagándose como si no estuviera dicho elemento. Este es el caso de la difracción.

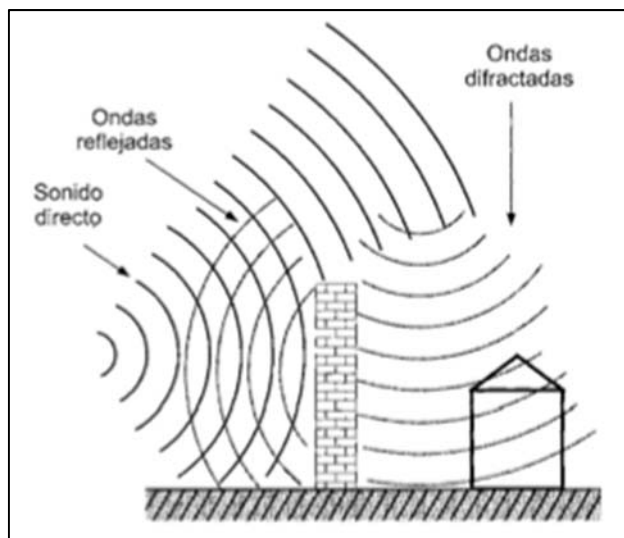


Figura 2-11 Ejemplo de difracción acústica frente a un obstáculo. [1]

Por otro lado, si la superficie presenta irregularidades de dimensiones comparables con la longitud de onda del sonido, se produce reflexión de la onda incidente en múltiples direcciones. Este fenómeno es conocido como difusión del sonido, en el cual basan su funcionamiento los difusores.

Como anteriormente se citó, la cola reverberante se debe a las reflexiones tardías (reflexiones de orden superior a 3). Debido a que la densidad temporal de reflexiones en un punto cualquiera de un recinto cerrado aumenta de forma cuadrática con el tiempo, existe una gran concentración de dichas reflexiones en cualquier punto de recepción y, además, sus características son prácticamente iguales con independencia del punto considerado. Es por ello que el estudio de la cola reverberante se efectúa siempre mediante criterios basados en la denominada acústica estadística, en lugar de la acústica geométrica. [1]

2.1.8 El Tiempo de reverberación (T_r)

El Tiempo de reverberación (T_r) es un factor físico de vital importancia en el estudio acústico de un recinto y el cual, según su valor, puede aportar una información útil en términos de su comportamiento en función del uso al que está destinado.

Este parámetro resulta un descriptor habitual del decrecimiento exponencial de la energía acústica en un recinto, y, es común expresarlo con las siguientes expresiones:

$$T_{60} = T_{Sab} [2]$$

En honor de W. Sabine, el físico estadounidense, Wallace Clement Sabine, a finales del siglo XIX, definió el Tiempo de reverberación como el tiempo que debe transcurrir para que el nivel de presión acústica en el recinto disminuya 60 dB, una vez que la fuente sonora ha dejado de emitir. O bien, como el tiempo que transcurre hasta que la densidad de la energía acústica en el recinto decrece a una millonésima parte de su valor inicial.

Fue en 1885 cuando el rector de la Universidad de Harvard encargó al profesor de física W. Sabine que intentase corregir la deplorable acústica del salón de actos del Fog Art Museum. Durante dos años Sabine investigó la acústica del recinto, utilizando para ello los tubos de un órgano, unas butacas cedidas por el Teatro Saunders y un cronómetro. De este modo, con los datos obtenidos dedujo su fórmula del Tiempo de reverberación, llevando a cabo modificaciones acústicas en la sala en 1898.

Históricamente, el Tiempo de reverberación de un recinto se convirtió en la primera magnitud que pudo ser medida objetivamente. Además, fue el mismo W. Sabine el que formuló las primeras leyes de la reverberación de un recinto:

- La duración de una reverberación es independiente de la posición de la fuente sonora y del punto de recepción.
- No depende de la situación de las superficies interiores de un recinto.
- Únicamente depende del volumen del recinto, del área de las superficies interiores y de su absorción acústica.

W. Sabine fue el fundador de la ciencia acústica de recintos gracias a sus deducciones acerca del Tiempo de reverberación. Las técnicas de medida y el conocimiento de la propagación del sonido en los recintos han mejorado desde entonces, pero sus ideas continúan en el fundamento de la moderna acústica de recintos.

La fórmula de Sabine del Tiempo de reverberación de un recinto presenta alguna serie de limitaciones importantes, en especial cuando las condiciones del recinto muestran poca reverberación junto con una elevada absorción acústica. A lo largo de los años se han ido proponiendo diferentes modelos predictivos.

Así pues, en este sentido, contamos con el modelo de Eyring-Norris-Waetzmann-Schuster, el cual difiere del de Sabine en que para ellos no existe una absorción acústica de manera continua en las superficies del recinto, tal y como defendía Sabine. Según este nuevo modelo, esta absorción se realizaba de forma discontinua, a intervalos de tiempo iguales al tiempo libre medio de las ondas sonoras. Este modelo representaba una mejor aproximación para el caso de recintos con un parecido coeficiente de absorción en todas sus superficies. Posteriormente, en 1991, Kuttruff propuso una variación de esta expresión teniendo en cuenta la varianza relativa del recorrido libre medio y, por tanto, teniendo en cuenta la forma del recinto.

Otro modelo para estimar el Tiempo de reverberación fue el definido por Millington-Sette que busca una mejor aproximación para el caso contrario, o, dicho de otra manera, cuando los diferentes límites superficiales del recinto a estudiar tengan un coeficiente de absorción muy diferente. El modo en que defendían este modelo se basaba en realizar un estudio del recinto, obteniendo el Tiempo de reverberación a través de cada una de las superficies límites del recinto. La controversia que presenta este método es que cuando una de las paredes poseía un coeficiente de absorción máximo, su valor de Tiempo de reverberación tendía a cero, lo cual. Esto fue defendido por Millington-Sette con el ejemplo que, si una ventana se encontraba abierta, el Tiempo de reverberación se anula, situación que en la práctica no ocurre.

Fitzroy, buscó en 1959 introducir una fórmula experimental para recintos con una distribución no uniforme de los materiales absorbentes.

En la acústica moderna los locales con grandes tiempos de reverberación se les denominan locales “vivos”; siendo locales “apagados” o “sordos” a aquellos de muy baja magnitud en este apartado. Como regla general, el Tiempo de reverberación se reduce conforme aumenta la frecuencia del sonido, debido a que, también de manera general, los materiales actúan como absorbentes ante frecuencias elevadas en revestimientos y el aire.

Con los datos obtenidos a través de la medición del Tiempo de reverberación de un recinto podemos conocer su calidad y confort acústico. Hasta tal punto que el DB-HR ya establece un determinado Tiempo de reverberación límite a ciertos espacios, según sus dimensiones y su uso. Además, aunque el Tiempo de reverberación sea característico para cada frecuencia, el DB-HR establece la necesidad de cumplir con estos valores límites resultantes de la media aritmética obtenida de las bandas de frecuencias de 500, 1k y 2k Hz.

Exigencias del Código Técnico respecto a los Tiempos de Reverberación	
Locales	Tr
Aulas	$Tr \leq 0,7$ s (para local vacío y volumen $< 350 \text{ m}^3$)
Salas de Conferencias	$Tr \leq 0,7$ s (para local vacío y volumen $< 250 \text{ m}^3$)
	$Tr \leq 0,5$ s (incluidas butacas y $250 \text{ m}^3 < \text{volumen} < 350 \text{ m}^3$)
Restaurantes y Comedores	$Tr \leq 0,9$ s (para cualquier volumen)

Tabla 2-1 Requerimientos establecidos por el DB-HR para el de Tiempo de reverberación. [2]

La duración del proceso de reverberación en un recinto tiene una gran importancia sobre la calidad del sonido en el mismo. A lo largo de los años se han ido elaborando una serie de criterios experimentales para fijar los tiempos óptimos de reverberación de los distintos tipos de recintos teniendo en consideración el uso del mismo, su volumen, naturaleza de las fuentes sonoras actuantes, tipo de representación y frecuencias.

Pese a que el Tiempo de reverberación sea una de las principales magnitudes objetivas que puedan obtenerse a día de hoy, se requiere, en algunos casos, de una serie de parámetros acústicos adicionales para obtener una descripción más completa de audición en el recinto.

La importancia del Tiempo de reverberación del recinto se basa en que:

- Puede medirse o calcularse con una precisión razonable y un coste moderado.
- El Tiempo de reverberación de un recinto generalmente no depende de manera significativa de la posición del receptor en el recinto, hecho destacado por la sencilla expresión de la fórmula de Sabine. De este modo, se pueden omitir detalles que pueden variar de un punto a otro en la medición de este parámetro.
- Existen una gran cantidad de datos de mediciones anteriores, lo cual nos permite utilizarlos, como criterio para juzgar el comportamiento acústico de nuevos recintos.

El Tiempo de reverberación puede obtenerse por medios empíricos o teóricos, tal y como más tarde se detallará y reflejará en este trabajo.

2.1.9 Otros parámetros de calidad acústica de recintos: La Inteligibilidad de la palabra

Otro parámetro que afecta, en gran medida, a nuestro tema de estudio es la Inteligibilidad de la palabra, que se define como un indicador del grado de buena comprensión del mensaje, emitido desde el emisor, por parte del receptor. No debe confundirse con un mayor volumen de voz, ya que esta acción no repercute para nada en la inteligibilidad, puesto que, aunque se hace mayor la intensidad del mensaje, las reflexiones también lo harán, dejando en las mismas condiciones el mensaje a oídos de un receptor. Así pues, la Inteligibilidad debe de asociarse más con la idea de una mayor nitidez de la palabra.

De este modo, a pesar de existir varios factores perniciosos para la comunicación en un recinto, como pueden ser el eco o eco flotante, aparece un factor que es fundamental en la comprensión de un mensaje, y es la correcta percepción de las consonantes.

Ya en los años 70, V.M.A. Peutz realizó numerosos ensayos y alcanzó una fórmula a partir de la cual se podía calcular el valor de la Inteligibilidad de la palabra.

Estos ensayos pueden dividirse en dos partes claramente diferenciadas. Por un lado, realizó numerosas pruebas en diferentes recintos, donde desarrollaba pruebas de comprensión de “logatomos”,

palabras compuestas por tres letras que seguían la secuencia de consonante-vocal-consonante. La prueba consistía en emitir estas palabras y que un receptor anotara lo que interpretaba. Una vez realizada esta práctica quedaban registradas las estadísticas obtenidas por el receptor si, por ejemplo, el porcentaje medio de estos logatomos detectados correctamente equivalían al 85% entonces se consideraba que la pérdida de información dada en ese recinto se establecía en un 15%. Esta pérdida de información quedaba asociada con una mala interpretación de las consonantes, con lo cual Peutz obtuvo lo que se denomina como “Porcentaje de pérdida de articulación de consonantes”, también conocido como %ALCons (Articulation Loss of Consonants). Estos datos hacían, por tanto, alusión de una forma inversamente proporcional a la Inteligibilidad de la palabra; es decir, a mayor valor de %ALCons, menor será el valor de la Inteligibilidad de la palabra.

En la segunda parte del trabajo realizado por Peutz, se trató la necesidad de establecer una expresión matemática que permitiera deducir valores de %ALCons sin necesidad de establecer pruebas a distintos oyentes, atendiendo únicamente a los materiales y características del recinto en el cual se iba a producir el estudio.

De este modo, y tras un elaborado trabajo de estudio sobre las estadísticas conocidas, Peutz, detectó una correspondencia entre estos valores de %ALCons con los valores que se obtenían de Tiempo de reverberación en estos recintos y los valores de diferencia entre los niveles de presión sonora en campo directo (L_D) y en campo reverberante (L_R). Quedando esta ley en cuestión expresada de la siguiente forma:

$$L_D - L_R = 10 \log \left(\frac{QR}{r^2} \right) - 17 \text{ (dB)} [1]$$

Donde:

- $\log$ hace alusión con el logaritmo decimal.
- Q se corresponde con el factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada ($Q = 2$ en el caso de la voz humana, considerando la dirección frontal del orador).
- R equivale a la constante de la sala (en m^2).
- r corresponde con la distancia del punto considerado a la fuente sonora (en m).

De entre las diferentes conclusiones que se pueden obtener de esta expresión, tenemos que el caso ideal para la Inteligibilidad de la palabra quedaría determinado por la mayor proximidad del receptor a la fuente y menor Tiempo de reverberación posible. Además, de la propia expresión podemos determinar qué %ALCons va aumentando conforme el oyente se aleja de la fuente, pero al alcanzar la distancia de:

$$r = 3,16 D_c [1]$$

Equivalente a:

$$(L_D - L_R) < -10 \text{ dB} [1]$$

el valor de %ALCons tiende a ser constante. D_c , equivale al término distancia crítica, donde:

$$L_D = L_R [1]$$

Lo cual muestra, que a partir de esa distancia la Inteligibilidad no empeora.

Otro factor muy importante, quedará presente en el propio ruido preexistente en la sala, puesto que, este se superpone a cualquier otro de forma negativa a partir de que este alcance un valor mínimo de 12 dB por debajo del nivel de señal emitida. El ruido afecta de tres maneras diferentes a la Inteligibilidad de la palabra, y estas son por alteración, debido a la superposición de este sonido útil y que obtiene como resultado un sonido ligeramente alterado; por enmascaramiento, donde el ruido supondría un enmascaramiento total de esos sonidos útiles, debido a diferencias mucho mayores en el nivel sonoro, unos 20 o 30 dB, llegando a enmascarar por completo este sonido, o parcialmente (solo

los fonemas débiles); y, por último, por confusión de patrones temporales, donde por coincidencia temporal de algunos golpes o impactos, no necesariamente fuertes, se superponen a la emisión de una vocal, algunas consonantes de similar perfil temporal, llevando a confusiones como pueden ser la “c” y la “t”.

Otro parámetro alternativo que otorga un valor de Inteligibilidad es de STI (Speech Transmission Index) y su valor oscila entre 0 (Inteligibilidad nula) y 1 (Inteligibilidad total). Este parámetro fue deducido por Houtgast y Steeneken, y se calcula a partir de la reducción de los diferentes índices de modulación “m” de la voz debida a la existencia de ruido de fondo en la sala y de reverberación.

ÍNDICE DE INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA		
Valoración Subjetiva del grado de Inteligibilidad	STI, STIrMal, STIrFem RASTI	%ALCons
Excelente	0,75 – 1,00	1,4% - 0%
Buena	0,60 – 0,75	4,8% - 1,4%
Aceptable	0,45 – 0,60	11,4% - 4,8%
Pobre	0,30 – 0,45	24,2% - 11,4%
Mala	0,00 – 0,30	46,5% - 24,2%

Tabla 2-2 Índice de Inteligibilidad de la palabra. [4]

2.1.10 Absorción acústica y sus mecanismos

El Tiempo de reverberación y la absorción acústica de un recinto son magnitudes inversamente proporcionales.

El grado de absorción sonoro de cualquier material se representa con el coeficiente de absorción (α). Este coeficiente se determina mediante la relación entre la energía absorbida por el material y la energía incidente sobre él. De manera matemática queda de este modo:

$$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía incidente}} [2]$$

Correspondiéndose, el valor cero con superficies totalmente reflectantes, cámaras reverberantes; y el valor de 1, con salas totalmente absorbentes, como es el caso de la cámara anecoica.

Para alcanzar un correcto acondicionamiento acústico en un recinto, la principal medida a tener en cuenta una vez definido el tamaño y forma de este, es la elección de una serie de materiales adecuados, en pos de alcanzar un adecuado Tiempo de reverberación. Materiales que, en mayor o menor medida, permiten junto al mobiliario y personal, absorber el sonido, entre otras necesidades.

Las características de absorción de materiales absorbentes, así como de resonadores, dependen no solo de sus propiedades físicas, sino también de un gran número de condicionantes y detalles constructivos, y que varían en gran medida de un caso a otro, no pudiendo por tanto ser representados por una fórmula matemática. Para ello, se requerirá de disponer los coeficientes de absorción (α), derivados de ensayos homologados en laboratorio (según las normas ISO 354 y UNE-EN 20354). Estos coeficientes son requeridos al proveedor, el cual debe acreditar su validez.

Estos ensayos se llevan a cabo, habitualmente con dos métodos. El primero de ellos es el de estudio en cámaras reverberantes, el cual es más común. Este método es empleado para medir el coeficiente de absorción acústica de materiales acústicos utilizados como tratamientos en paredes y techos, o el área de absorción equivalente a personas, muebles o absorbentes funcionales.

Los requisitos para este método, comprenden una sala de un volumen aproximado de 200 m³, además, la forma de la cámara reverberante debe cumplir con que la longitud del mayor segmento rectilíneo inscrito en ella deberá ser menor de $1,9 \sqrt[3]{V}$ m, con la finalidad de obtener una distribución uniforme de frecuencias propias, especialmente en las bandas de bajas frecuencias. Tampoco podrán ser ambos lados de igual medida, introduciendo un campo sonoro lo más difuso posible y el área de absorción acústica equivalente de la cámara vacía deberá ser muy pequeña.

Las muestras, si son planas deben tener un área de entre 10 y 12 m², y en el caso de ensayos con absorbentes unitarios, como sillas, personas, o similares; deben introducirse en un número suficiente y distribuidos al azar en el recinto, para producir un cambio medible en el área de absorción acústica equivalente.

Las mediciones deben realizarse según la citada Norma en bandas de tercio de octava, con frecuencias centrales comprendidas entre los 100 y 5000 Hz.

El otro método más empleado es el del tubo de impedancia, o tubo de Kundt. Este método, a diferencia del de cámaras reverberantes, permite caracterizar muestras pequeñas de material: el coeficiente de absorción acústica de un material para incidencia normal a la superficie del mismo, el coeficiente de reflexión acústica y la impedancia acústica normalizada.

El funcionamiento de este método consiste en excitar un tubo cerrado por un extremo con una onda acústica por el otro extremo, originando una onda estacionaria. Ésta es la resultante de la onda que compone la onda plana incidente y la reflejada. La onda se caracteriza por tener máximos y mínimos fijos en el espacio, separados un cuarto de la longitud de onda. En los puntos máximos la onda incidente y la reflejada, se encuentran en fase; y en el caso de los mínimos, se encuentran en contrafase.

Midiendo la presión en el tubo en diferentes posiciones, moviendo la muestra de prueba, o con varios micrófonos, el coeficiente de reflexión y la impedancia pueden ser evaluados.

Algunas limitaciones de este método son que únicamente se pueden medir muestras pequeñas, y que no pueden medirse muestras de placas vibrantes, pues sus frecuencias de resonancia dependen de las dimensiones y forma de apoyo de las mismas.

A pesar de que los recintos habituales no son reverberantes difusos, el procedimiento normalizado para calcular el coeficiente de absorción acústica de los materiales utiliza la expresión del Tiempo de reverberación de Sabine. Esto es importante tenerlo en cuenta cuando se empleen diferentes métodos de obtención del Tiempo de reverberación, como es el caso de Eyring-Norris, donde el coeficiente de absorción de este queda expresado como:

$$\alpha_E = 1 - e^{-\alpha_{Sab}} [5]$$

Donde:

- α_E se corresponde con el coeficiente de absorción de Eyring-Norris.
- α_{Sab} equivale al coeficiente de absorción de Sabine.

En el caso de emplear la fórmula de Sabine para el cálculo de coeficientes de absorción, existen unas situaciones particulares donde no se predicen los resultados de manera adecuada. Esto es, para el caso de recintos cuyas superficies son totalmente reflectantes, donde el Tiempo de reverberación se eleva al infinito. Este caso es un caso teórico, puesto que, en la realidad, todos los materiales presentan una mínima absorción y, además, debería ser tenido en cuenta el aire o material del que se componga el medio, el cual también participa en la absorción. Por contraposición, el caso contrario, propone un Tiempo de reverberación nulo, lo cual también es, en la práctica, imposible de encontrar.

De este modo, en el acondicionamiento acústico de recintos se emplean, comúnmente los siguientes o materiales o sistemas de absorción:

- a) Materiales absorbentes porosos: Cuyo mecanismo de absorción radica en transformar la energía acústica en energía calorífica por medio de procesos de fricción interna. Pueden ser de esqueleto rígido o elástico. Estos materiales poseen la capacidad de disminuir la cantidad de energía reflejada, y para desempeñar su labor, deben ser blandos, ligeros, fibrosos y de poro abierto. Este último factor, de porosidad, o en concreto poro abierto (esqueleto sólido recorrido por poros irregularmente comunicados entre sí y con el exterior), resulta un factor condicionante, ya que el sonido se adentra en los poros del material y produce en las partículas de aire presente una vibración que, al friccionar con las paredes internas del material, la energía acústica se transforma energía acústica en calorífica. Para sonidos con altas frecuencias se incrementa esta transformación de energía por rozamiento. Las dimensiones de los poros son siempre mucho menores que la longitud de onda del sonido implicado, generalmente son inferiores a 1 mm. El cumplimiento del DB-HR exige el empleo de materiales absorbentes porosos.

Ejemplos de estos elementos absorbentes son las fibras de vidrio, minerales y orgánicas, espumas plásticas, metales porosos y cerámicos, etc.

Los parámetros físicos que afectan a este tipo de absorbentes son:

- Porosidad (H): Se define como el cociente entre el volumen ocupado por los poros, en nuestro caso el aire, y el volumen total. Se puede expresar la porosidad en términos de las densidades del aire ρ_a y la del medio ρ_m :

$$H = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_m} [5]$$

En los materiales porosos utilizados habitualmente como absorbentes, los valores de porosidad varían entre el 90% y el 98%.

- Resistencia al flujo (R): El rozamiento con la superficie de las fibras o partículas que forman la estructura porosa actúa como una resistencia acústica cuyo valor es función de la resistencia del material al flujo de aire directo. Por tanto, este término se define como la relación entre la diferencia de presión a través de una muestra de material y el caudal volumétrico de aire que la atraviesa. Expresada matemáticamente de este modo:

$$R = \frac{\Delta p}{q_v} Pa \cdot s / m^3 [5]$$

Donde Δp es equivalente a la diferencia de presiones, en Pascales, entre ambos lados de la muestra y q_v es el caudal volumétrico que le atraviesa, en m^3/s .

El valor óptimo de resistencia al flujo es función de la frecuencia, espesor del material y forma de montaje. Su valor ha de estar entre ciertos límites, puesto

que si la resistencia es muy alta, la onda no entrará, y si es muy baja no encontrará resistencia, reduciendo al mínimo el rozamiento. Esta magnitud no es una constante del material, pues depende del espesor de la muestra.

Además, existen materiales con poros cerrados, no comunicados entre sí y el exterior que son malos absorbentes, aunque en la edificación se emplean como aislamiento térmico.

En el caso de materiales porosos con estructuras flexibles, como son las lanas minerales, el coeficiente de absorción aumenta con la frecuencia; mientras que en los coeficientes de materiales porosos con estructuras rígidas el coeficiente acústico muestra variaciones significativas, particularmente a bajas frecuencias, como es el caso de piedras porosas.

- Influencia del espesor del material poroso: Influye de manera muy importante en la mejora de la absorción acústica. A bajas frecuencias adquiere un valor directamente proporcional, es decir, a mayor espesor, mejor coeficiente de absorción.

- Efecto de una cámara de aire detrás del material absorbente: El coeficiente de absorción acústica de un material poroso varía en gran medida dependiendo de las condiciones de su instalación. De este modo, cuando añadimos una cámara de aire entre estos elementos y la pared rígida e impermeable aumenta significativamente la absorción.
- Efecto de la densidad del material absorbente: Existe también un efecto apreciado en los materiales absorbentes según el valor de su densidad, llevado a cabo bajo diferentes condiciones y ensayos.

b) Resonadores: Los cuales son elementos encargados de absorber de manera selectiva determinadas frecuencias del sonido (principalmente las bajas frecuencias), las cuales reciben el nombre de frecuencia de resonancia. Ello mediante la transformación de la energía acústica en energía dinámica y en pérdidas internas debidas a la deformación (resonadores de placa o membrana) o mediante la vibración y el rozamiento de las partículas de aire de sus perforaciones al incidir en ellos las ondas acústicas (resonadores múltiples de cavidad o de Helmholtz). Dependen tanto de sus características físicas como de sus características geométricas.

Los resonadores de Helmholtz fueron empleados con anterioridad a este investigador, incluso en épocas clásicas, en teatros al aire libre tanto griegos como romanos, e incluso en iglesias medievales.

Este tipo de resonadores consisten en una cavidad llena de aire que comunica con el exterior mediante un conducto, conocido como cuello. Absorben energía acústica alrededor de una determinada frecuencia de resonancia, que es función de las características geométricas de éste. Una vez se adentra la onda en esta cavidad, se pone en movimiento el aire del cuello, comprimiendo y expandiendo el aire del resto de la cavidad. Debido al rozamiento del aire con las paredes del cuello, parte de la energía se disipa en forma de calor. Para potenciar estas pérdidas, se puede añadir un material poroso al cuello del resonador o un elemento absorbente a la cavidad.

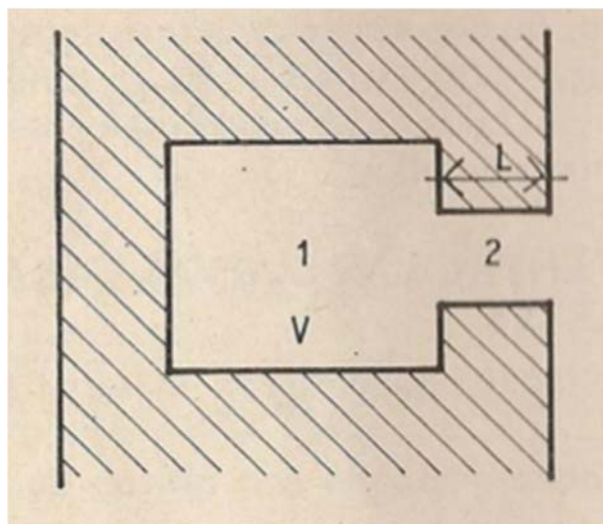


Figura 2-12 Esquema de un resonador. [3]

c) Sistema absorbente mixto: Es la unión del material poroso y el resonador. El sistema absorbente mixto más empleado es el panel perforado con material poroso en la cavidad posterior. Estos elementos ofrecen una protección mecánica para un material absorbente acústico poroso, cubriéndose este con un panel de madera, plástico o metálico. Si el área de las perforaciones es superior al 20 % se dice que la absorción acústica está completamente controlada por las propiedades del material poroso y el panel de revestimiento no ofrece ninguna mejora en absorción acústica. No obstante, si el porcentaje

de superficie perforada no alcanza el 20 % de la superficie total, entonces, la frecuencia a la cual la absorción es máxima puede ser calculada de forma aproximada, considerando el sistema como un conjunto de resonadores de Helmholtz asociados, mediante la siguiente expresión:

$$f_{res} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P/100}{L[t + 1,7r(1 - 0,44\frac{r}{q})]}} [5]$$

Donde:

c es el valor de la velocidad del sonido.

P es igual al porcentaje de área abierta del panel.

L es la profundidad de la cámara posterior al panel, incluyendo el material poroso, en m.

t es el espesor del panel, en m.

r es el radio de las perforaciones, en m.

q es el espaciado entre huecos, en m.

Si el material poroso rellena completamente la cavidad entonces debe modificarse el valor de la velocidad por 0,85 c.

- d) Absorción acústica activa: Este elemento es fruto del desarrollo tecnológico y, en concreto, de la aparición de los procesadores digitales de señal, que han permitido que las ideas esbozadas por Lueg en 1933, y ratificadas por Olsen en 1953, sean hoy una realidad.

El funcionamiento de este sistema consta del empleo de un altavoz o un sistema de sonido electrónico, el cual elimina un ruido emitiendo otro de mismas características del ya existente, pero en contrafase.

Estos sistemas se están ejecutando con gran éxito para reducir ruidos tonales de bajas frecuencias, principalmente en campos acústicos unidimensionales, como es el caso de los conductos. En campos tridimensionales, estos sistemas se encargan de reducir los ruidos a baja frecuencia y de producir zonas localizadas de silencio, siendo muy común en recintos deportivos.

Todos estos valores obtenidos de coeficientes de absorción son clasificados por la norma ISO 11654, estableciendo al mayor valor de coeficiente de absorción un nivel A y, al peor un nivel de “No clasificado”, encontrando los niveles medios como B, C, D y E, respectivamente para los diferentes valores decrecientes, dependiendo no solo del valor de este coeficiente, si no también de la frecuencia a la que trabajan.

α_w	Sound absorption class
1.00–0.95–0.90	A
0.85–0.80	B
0.75–0.70–0.65–0.60	C
0.55–0.50–0.45–0.40–0.35–0.30	D
0.25–0.20–0.15	E
0.10–0.05–0.00	Not classified

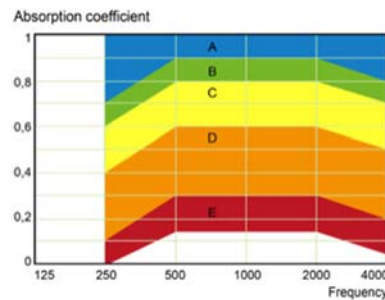


Figura 2-13 Clasificación de coeficientes de absorción según la norma ISO 11654. [6]

En relación con los coeficientes de absorción acústica, puede darse el caso de aparecer en ciertos ensayos en cámaras reverberantes valores de $\alpha > 1$. Esto, por teoría, es imposible, puesto que ningún material conocido a día de hoy podría absorber mayor cantidad de energía que la cantidad a la que es expuesto.

Este fenómeno, denominado efecto de borde o efecto de difracción, sin embargo, tiene una sencilla explicación. La causa radica, de nuevo, en la propia fórmula de Sabine, en ella vemos que un factor fundamental a tener en cuenta en el cálculo del coeficiente de absorción acústico es la superficie de material empleada en el ensayo. Comúnmente, en un ensayo en cámara reverberante se emplea una superficie de 10 m^2 . La forma en que se disponga la superficie del elemento a evaluar determinará si el valor del coeficiente de absorción está dentro de los límites lógicos (entre 0 y 1) o no. Para explicar lo anteriormente citado, pondremos un ejemplo bastante sencillo de entender.

Imaginemos que cubrimos 10 m^2 del suelo de una cámara reverberante en la cual se va a realizar un ensayo acústico, con un panel de lana de roca de 100 kg/m^2 y 50 mm de espesor.

Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Lana de roca 100 kg/m^2 (50 mm espesor)	0,19	0,74	0,95	0,98	0,96	1,04

Tabla 2-3 Resultados obtenidos a un ensayo en cámara reverberante de una lana de roca. [7]

Como vemos, a 4000 Hz de frecuencia se obtiene un coeficiente de absorción acústica de 1,04. Para descubrir el detonante de este efecto solo debemos de fijarnos en la cantidad de superficie se ha introducido en nuestro cálculo, puesto que si la superficie empleada en la fórmula de Sabine es de tan solo 10 m^2 , es decir, la superficie de suelo que ocupa esta muestra, estaríamos despreciando el borde de 50 mm que este presenta, y alterando de manera significativa el valor obtenido en el ensayo, puesto que a efectos reales existe más superficie actuando de la que realmente calculo, de ahí el obtener un valor superior a 1.

Para evitar este fenómeno tan solo debemos añadir la cantidad de superficie que representa el borde del material a estudiar. Esto, en ocasiones, no es tan fácil, puesto que el material a evaluar no cuenta con una geometría tan sencilla como este paralelepípedo. Imaginemos que nos encontramos con un material de superficie irregular como es el caso de una espuma absorbente: ¿Qué cantidad de superficie real presenta este tipo de absorbente? En este caso, la solución pasa por aproximar la geometría de esta espuma a una más sencilla, llevando a una variación del coeficiente de absorción, pero al mismo tiempo inevitable.

Estos resultados, lejos de ser sinónimo de valores inútiles, deben ser estudiados, y aquellos valores superiores a 1 de manera rigurosa, evaluando la cantidad de superficie omitida, obteniendo una adecuación de estos valores a lo que es real.

2.2 Acústica en recintos destinados al uso de comedores

2.2.1 Problemática del ruido generado

El confort, en todos sus aspectos, es uno de los principales objetivos de un comedor. Por tanto, ha de tenerse en cuenta para el diseño y confección del recinto. El trasiego de cientos de personas concurriendo en un mismo horario, el ruido proveniente de las conversaciones, el movimiento del mobiliario, los ruidos propios de la cocina (habitualmente próximos al propio comedor) y diferentes fuentes (televisión, megafonía, u otros dispositivos) hacen que el confort se vea amenazado ante tal cantidad de factores adversos. Estos factores se agravan cuando añadimos el hecho de encontrar ciertos comensales que, como en el caso de la ENM, proceden de numerosas horas de clases y estudio, donde el silencio y disciplina componen una regla de riguroso cumplimiento, y encuentran el momento de la comida una oportunidad para dar entrada a conversaciones e intercambio de ideas. Este momento, que pretende acabar con la dinámica de todo un día, requiere de unos niveles adecuados de ruido, para favorecer la comunicación, el descanso y la necesidad de reducir el estrés.

En algunos casos puede llegar a alcanzarse nivel de presión sonora de hasta 90 dBA. Esto no solo resulta una incomodidad, sino, además, un riesgo para la salud, convirtiendo el objetivo pretendido, desconexión del comensal y su descanso, en el efecto contrario, aumento de estrés y fatiga.

Todos estos factores, condicionantes para el diseño de un comedor, necesitan ser subsanados por medio de una correcta utilización de materiales, así como mediante un correcto diseño, donde preferiblemente se ejecutarán materiales porosos y se evitará el empleo de bóvedas, las cuales generarían reflexiones focalizadas sobre puntos habitados del comedor.

El mayor problema al que se enfrenta el diseño de un comedor, es el de mantener una estética atractiva y que, además, permita una sensación de relajación visual y de comodidad con el entorno, salvando las necesidades en cuanto a acústica. Habitualmente se emplean materiales vistosos y de gran efecto estético, como pueden ser los mármoles, pero de una reducida calidad acústica (favorece en demasía las reflexiones).

2.2.2 Normativa y criterio de calidad de Tiempo de reverberación adecuado

Debido a la problemática descrita con anterioridad, la cual ha sido durante mucho tiempo cuestión de estudio por expertos, las exigencias relativas a las condiciones de los comedores, y actuación sobre estos, queda reflejada en la normativa correspondiente.

El principal documento que hace alusión a la normativa vigente en cuanto a temas relacionados con la acústica es el DB-HR. Este documento está contenido, por tanto, en el Código Técnico de la Edificación (CTE), el cual es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre de Ordenación de la Edificación (LOE). Este se encarga de establecer los

criterios que se deben cumplir (tal y como se reflejó en la Figura 2-12 del apartado 2.1.8); no obstante, el CTE deja margen de maniobra al permitir flexibilidad y favorecer el desarrollo de tareas de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en relación a sistemas constructivos de cumplimiento.

El DB-HR tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir exigencias básicas de protección frente al ruido. Cuenta con una última versión del 23 de diciembre de 2016 que añade comentarios, para su mejor interpretación, por parte del Ministerio de Fomento. Posee una serie de documentos en apoyo, como la “Guía de uso de las magnitudes de aislamiento acústico en relación con las exigencias (junio de 2016)”;

Guía de aplicación DB-HR (diciembre de 2016) y, por último, Guía IEE “Guía para la cumplimentación de la parte IV del Informe de Evaluación de Edificios. Condiciones básicas de protección frente al ruido”.

EL DB-HR introduce numerosas novedades frente a la anterior normativa (Norma Básica de la Edificación, NBE-CA-88). De manera cuantitativa, queda patente en el incremento de los aislamientos exigidos, tal y como muestra la siguiente tabla. [2]

<i>Cambio “cuantitativo” en los valores mínimos de los aislamientos exigidos</i>	-Incremento en los niveles de exigencia de aislamientos acústicos entre recintos (tanto a ruido aéreo como a ruido de impacto)
<i>Cambio “cualitativo” en la justificación de los aislamientos exigidos¹</i>	Los nuevos parámetros acústicos se pueden medir “in situ” en obra (los parámetros de la NBE-CA-88 representaban aislamientos medidos en laboratorio); por tanto, a través de mediciones acústicas efectuadas por laboratorios acreditados se podrá comprobar de forma veraz el cumplimiento de las nuevas exigencias. Ello induce que se pase de hablar de aislamientos de particiones a hacerlo en términos de aislamientos entre recintos.
<i>Carácter prestacional</i>	Al igual que el resto del CTE, sus exigencias deberán cumplirse en obra terminada. Por ello no indica que sistemas constructivos se han de emplear (aunque si sus características acústicas mínimas), adjudicando un papel muy importante a la investigación en innovación.
<i>Exigencia de desarrollar acondicionamiento acústico</i>	Necesidad de adecuar los tiempos de reverberación de los locales en función de sus usos: aulas, salas de conferencias, restaurantes y comedores (la NBE-CA no contempla exigencias en este sentido, sólo recomendaciones). - Establece unos tiempos de reverberación máximos (verificables en obra) en aulas y salas de conferencias (de menos de 350m ³), restaurantes y comedores. - Asimismo, indica que los acabados superficiales y los revestimientos que delimitan la zona común de un edificio residencial o docente han de proporcionar una absorción mínima para proteger a los recintos protegidos (aulas, habitaciones, salones) contiguos que compartan puertas o ventanas.
<i>Nuevos índices de aislamiento</i>	Los índices acústicos con los que se han de cuantificar los diversos aislamientos pedidos son distintos a los indicados en NBE-CA debido a la necesidad de evaluación “in situ”; por ello, las nuevas magnitudes tienen en cuenta las transmisiones indirectas (no consideradas en laboratorio).
<i>Nueva terminología</i>	Se introduce una nueva terminología para definir los distintos recintos de las viviendas.
<i>Requisitos de diseño y ejecución</i>	- Establece unos requisitos de diseño y ejecución de los elementos constructivos con el fin de evitar puentes acústicos y garantizar el correcto aislamiento acústico. - Establece exigencias de diseño y ejecución de las instalaciones para evitar la transmisión de ruido y vibraciones
<i>Establece unas características para los materiales</i>	Establece unas características que deberán documentar los fabricantes de materiales implicados en la acústica del edificio, así como las propiedades acústicas de los elementos construidos con ellos.

EVALUACIÓN DEL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL COMEDOR
DE ALUMNOS DE LA ENM Y DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA MEJORAR EL
CONFORT SONORO DEL RECINTO

Establece dos opciones para el diseño y dimensionado de los elementos constructivos	- Opción simplificada: Soluciones de aislamiento. Proporciona soluciones de aislamiento que dan conformidad a las exigencias de aislamiento a ruido aéreo y a ruido de impactos: Indica las características mínimas que deben de poseer los elementos constructivos (elementos de separación vertical, elementos de separación horizontal, tabiquería, fachadas) para ser empleadas en las diferentes situaciones (entre unidades de uso diferentes, entre una unidad de uso y zona común, delimitación de un recinto de instalaciones o delimitación de un recinto de actividad). Para cada uno de dichos elementos constructivos se establecen en tablas los valores mínimos de los parámetros acústicos que los definen, para que junto con el resto de condiciones establecidas en este DB, particularmente en el punto 3.1.4, se satisfagan los valores límite de aislamiento establecido. - Opción general: Método de cálculo de aislamiento acústico. La opción general contiene un procedimiento de cálculo basado en el modelo simplificado para transmisión acústica estructural de la UNE EN 12354 partes 1, 2 y 3. También podrá utilizarse el modelo detallado que se especifica en esa norma. Permite comprobar de modo predictivo (pues la transmisión acústica desde el exterior a un recinto de un edificio o entre dos recintos de un edificio se produce siguiendo los caminos directo y por flancos) si las soluciones constructivas que pretendemos ejecutar satisfarán los requisitos de aislamiento establecidos.
Introduce un programa informático para predecir el aislamiento "in situ" de las soluciones constructivas	Cuando se pretendan aplicar soluciones constructivas distintas a aquellas propuestas por el CTE se podrá evaluar su posible idoneidad prediciendo que aislamiento generarán "in situ".
1. Aunque El DB-HR "protección frente al ruido no exige explícitamente la realización de ensayos de aislamiento in situ, deja a criterio de las administraciones locales si que exijan al final de obra una justificación del cumplimiento de los aislamientos mínimos normativos en función de los nuevos índices introducidos 2. Una solución de aislamiento es el conjunto de todos los elementos constructivos que conforman un recinto (tales como elementos de separación verticales y horizontales, tabiquería, medianerías, fachadas y cubiertas) y que influyen en la transmisión del ruido y de las vibraciones entre recintos adyacentes o entre el exterior y un recinto.	

Tabla 2-4 Diferencias acogidas por el DB-HR en relación al NBE-CA-88. [2]

No obstante, también ofrece cambios en cuanto a nivel cualitativo, puesto que el DB-HR permite el introducir nuevos índices acústicos para obtener "in situ" los valores de los parámetros de aislamiento. Esto permite, desde la publicación de este documento, el realizar comprobaciones en obras terminadas y, de este modo, establecer una posibilidad de verificación, que hasta la fecha no era posible. Estas comprobaciones, a efectos de verificación, deben realizarse por laboratorios acreditados y conforme a lo establecido en la Norma UNE EN ISO 16238-1, de 2014, para ruido aéreo, en la Norma UNE EN ISO 140-7 para ruido de impactos y en la Norma UNE EN ISO 3382 para Tiempo de reverberación. El DB-HR permite una tolerancia de 3 dBA en medidas de aislamiento a ruido aéreo, 3 dB en ruido de impacto y de 0,1 s para el Tiempo de reverberación.

La reglamentación relacionada con el DB-HR se corresponde con la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido (BOE 18/11/2003); Real Decreto 1367/2007 de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 27/2003, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas (BOE 23/10/2007); y el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental (BOE 17/12/2005).

Adentrándonos en el documento DB-HR encontramos en el artículo 2.2 "Valores límite de Tiempo de reverberación" en su apartado 1.c: "*El Tiempo de reverberación en restaurantes y comedores vacíos no será mayor que 0,9 s*" [8]. Este apartado, por tanto, nos muestra el criterio a seguir para la construcción de un recinto destinado al uso de comedor; no obstante, nos encontramos con que indica lo siguiente:

“El ámbito de aplicación de este DB es el que se establece con carácter general para el CTE en su artículo 2 (Parte I) 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 conferencias cuyo volumen sea mayor que 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. Así mismo, 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.*

El contenido de este DB se refiere únicamente a las exigencias básicas relacionadas con el requisito básico "Protección frente al ruido". También deben cumplirse las exigencias básicas de los demás requisitos básicos, lo que se posibilita mediante la aplicación del DB correspondiente a cada uno de ellos.” [8]

Atendiendo a lo descrito en el apartado d) apreciamos que nos encontramos en nuestro caso de estudio, un recinto comedor que, aunque se encuentre exento de la exigencia indicada debido a su fecha de construcción, su evaluación acústica se considera necesaria para conocer su comportamiento, cuantificarlo en relación a la exigencia para un recinto posterior a la entrada en vigor del DB-HR y definir medidas para mejorar el confort acústico. Es decir, queda excluido del ámbito de aplicación de esta normativa, lo cual no exime de tenerlo en consideración por razones obvias.

Además de la normativa descrita, pueden implementarse algunos requisitos exigidos por las propias autoridades locales de los municipios donde se van a desarrollar las construcciones de estos recintos.

2.2.3 Ejemplo de acondicionamiento en recinto destinado a restaurante

Para ilustrar una aplicación de los factores indicados, se ha procedido a resumir un caso práctico de mejora acústica de un recinto: Evaluación acústica del recinto “Bar-restaurante de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallés, Sant Cugat (Barcelona, España)”

Arquitecto: Lluís Nadal Oller.

Estudio acústico: Audioscan, ingeniería del sonido.

El recinto analizado en este caso consta de una planta rectangular de 21,6 m de largo por 8,5 m de ancho y 3,05 m de alto, alcanzando un volumen de 560 m³.

Tras realizarse un estudio acústico del recinto se obtuvo que el resultado de las mediciones tomadas previamente al acondicionamiento acústico indicaba un Tiempo de reverberación igual a 1,8 s. Además, estas mediciones se realizaron con la sala ocupada, lo cual afecta negativamente en el Tiempo de reverberación, pero una vez más vemos que este dista de ser el exigido (0,9 s), por lo que el grado de confort es insatisfactorio.

Entre los objetivos que se establecieron para este proyecto se encuentra el reducir el Tiempo de reverberación hasta un intervalo de entre 0,7 s y 0,9 s (intervalo con la sala ocupada).

Para ello las medidas adoptadas con objeto de mejorar las condiciones acústicas de la sala y cumplir con los objetivos marcados se aplicaron en el techo del recinto, el cual cuenta con un gran porcentaje de superficie respecto de la total.

Concretamente, se propuso el montaje de un falso techo a base de placas de cartón-yeso perforadas y revestidas por el dorso con un velo de protección de la caída de polvo. Las perforaciones fueron circulares y dispuestas en forma de cuadrícula. El diámetro y la separación entre las mismas fueron de 12 mm y 25 mm, respectivamente. Suponiendo un porcentaje de porosidad del 18%.

Para aumentar la absorción acústica, por encima de dichas placas se propuso colocar planchas de lana mineral de espesor de 80 mm y densidad de 15 kg/m³. Además, el conjunto se instaló a una distancia media de 25 cm del techo a fin de conseguir una absorción más uniforme en todas las bandas de frecuencia de interés.

Una vez aplicadas las medidas anteriores se procedió a evaluar de nuevo las condiciones acústicas del recinto. Los resultados obtenidos determinaron que el Tiempo de reverberación para la sala vacía ha caído hasta los 0,94 s, mientras que para la sala ocupada se alcanza el valor de 0,78 s. Por tanto, se puede culminar la evaluación habiendo cumplido los objetivos prefijados y alcanzando un grado de confort acústico satisfactorio. [1]

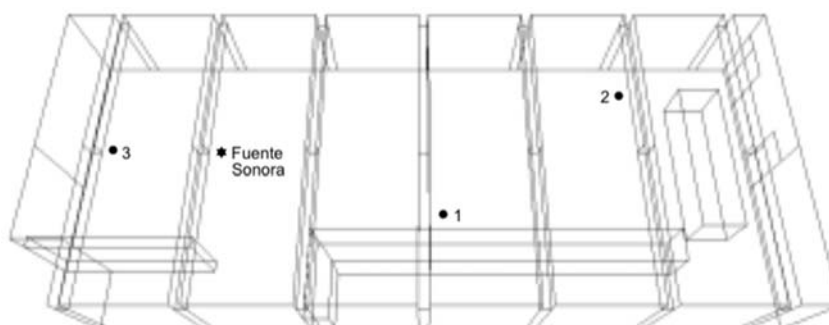


Figura 2-14 Posiciones de fuente y de medición empleadas. [1]

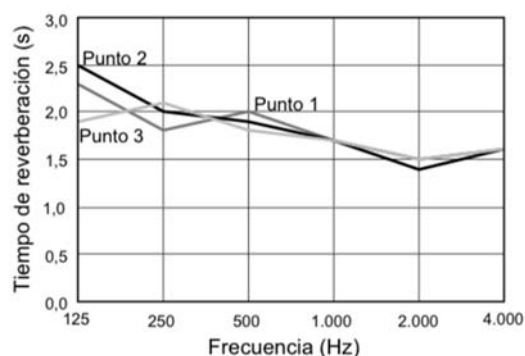


Figura 2-15 Resultados obtenidos en las mediciones iniciales y finales. [1]

3 CASO DE ESTUDIO: COMEDOR DE ALUMNOS DE LA ENM

3.1 Descripción del recinto

El recinto comedor de alumnos de la ENM se encuentra en el edificio Marqués de la Victoria, lugar donde actualmente habitan los alumnos de cuarto y quinto curso, además de acoger al personal de cuerpos comunes durante sus periodos de formación en la Escuela Naval Militar.



Figura 3-1 Imagen de la fachada del edificio Marqués de la Victoria. [9]

En él se efectúan los desayunos, comidas y cenas de todo el batallón de alumnos. Para la realización de la segunda comida, así como para el descanso a media mañana en el bocadillo, la escuela pone a disposición de los alumnos otro recinto conocido como Casino de Alumnos Almirante Bonifaz, que éstos pueden emplear con fines de ocio y descanso en general; siendo, por tanto, la asistencia al comedor de alumnos durante la segunda comida de carácter voluntario.



Figura 3-2 Puerta principal del comedor de alumnos.

De este modo, el recinto suele ser empleado a lo largo de un día lectivo, la llamativa cifra de más de 400 comensales diarios. Pero el comedor de alumnos de la ENM no solo acoge en su recinto a alumnos, cuenta con una zona diferenciada, acotada por separadores de madera, para el reparto de comidas de profesores y dotación de la ENM.



Figura 3-3 Fotografía de los separadores empleados en el comedor.



Figura 3-4 Área destinada al uso de comedor, para dotación y profesores de la ENM.

El recinto en sí consta de un volumen total aproximado de 4000 m³, dispuesto en forma de 'T' en planta. El segmento corto de este recinto alcanza los 15,75 m de largo por 9 m de ancho, mientras que en el tramo largo una longitud total de 75 m de largo por 9 m de ancho. Todo el recinto cuenta con una altura media de 5 m, a excepción de varios elementos constructivos existentes en el comedor como los arcos abovedados de mármol (en los cuales hay una altura máxima de 4,2 m), y otros puntos donde se presentan los escayolados, (de una altura de 4,4 m).

A continuación, se refleja la distribución en planta del recinto indicado:

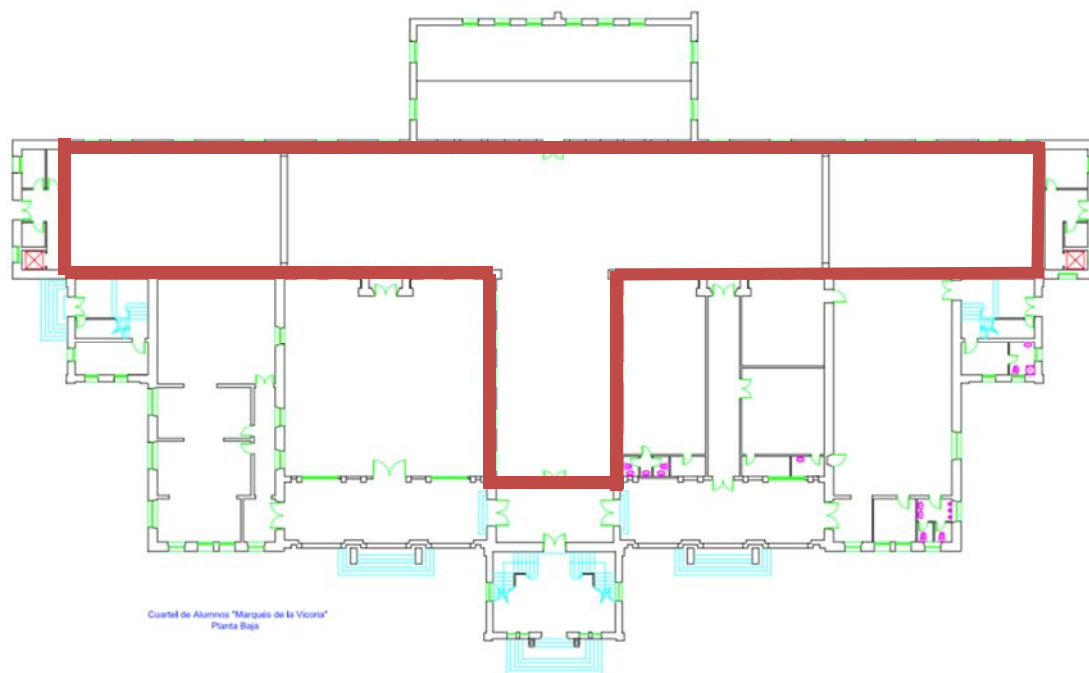


Figura 3-5 Planta del comedor de alumnos de la ENM proporcionado por la secretaría de mantenimiento.

En el recinto se pueden diferenciar distintos materiales que componen las superficies. En primer lugar, el suelo en su totalidad es de terrazo, a excepción de la mesa presidencial situada sobre un entarimado de madera de 3 m de ancho por 10,70 m de largo y 0,20 m de alto.



Figura 3-6 Mesa presidencial, situada sobre un entarimado de madera.



Figura 3-7 Detalle del suelo del comedor.

Por otro lado, las paredes son de mármol hasta una altura de 2 m, para posteriormente poseer como acabado un enlucido de yeso hasta el techo. En el punto de unión del comedor con la cocina nos encontramos que el mármol asciende en ciertos tramos hasta los 2,75 m y, además, se incorporan unos 6 cristales de protección a través de los cuales se sirve la comida a los alumnos, de diferentes medidas los exteriores (0,70 m de alto por 1,60 m de ancho) y los cuatro interiores (0,70 m de alto por 1,25 m de ancho).



Figura 3-8 Detalle de los diferentes paramentos del comedor.



Figura 3-9 Línea de servicio.



Figura 3-10 Ventanales en la línea de servicio.

Las paredes cuentan con grandes ventanales, distribuidos de manera irregular, y además con dos grandes portones para el acceso desde el exterior (de 4,25 m de alto por 2,5 m de ancho) con un acabado en mármol en su totalidad del marco. Así mismo, existen dos grandes espejos que se encuentran en los fondos del comedor.



Figura 3-11 Detalle de una de las dos grandes superficies especulares.

Para finalizar, el techo consta en su práctica totalidad de enlucido de yeso, a excepción de aquellos marcos abovedados de mármol, o el paso del primer segmento del comedor en su cercanía con la mesa presidencial, en la cual el marco es también de mármol, pero en este caso sin bóveda.



Figura 3-12 Transición de materiales en el techo.



Figura 3-13 Arcos abovedados del comedor de alumnos.

3.2 Caracterización del comportamiento acústico actual del recinto

3.2.1 Predicción del Tiempo de reverberación mediante el método de cálculo general del DB-HR

Para el cálculo del Tiempo de reverberación, factor de vital importancia para la caracterización de nuestro comedor, contamos con múltiples posibilidades. La más habitual, y de mayor reconocimiento a nivel internacional en el campo de acústica, viene determinada por la fórmula del físico, W. Sabine. El Tiempo de reverberación queda expresado matemáticamente por la siguiente expresión:

$$Tr(s) = 0,161 \frac{V}{A_{tot}} [2]$$

Donde:

- V equivale al volumen del recinto, en m^3 .
- A_{tot} es la absorción total del recinto. La cual pasamos a definir a continuación.

La anterior expresión se ha obtenido teniendo en cuenta la hipótesis de campo acústico difuso y no se ha tenido en cuenta la absorción acústica del aire del recinto. En la práctica se calculan los tiempos de reverberación de un recinto en bandas de frecuencia de octava y de tercio de octava.

Dado que nuestro recinto comedor de alumnos de la ENM, posee un gran volumen, el aire debe ser tenido en cuenta como otro elemento absorbente más.

El DB-HR establece que ha de considerarse la absorción del aire ($4 \cdot \bar{m}_m \cdot V$) para recintos de volumen igual o superior a $250 m^3$.

$$Tr(s) = 0,161 \frac{V}{A_{tot} + 4mV} [2]$$

Esta expresión puede obtenerse referenciando que el valor de A_{tot} es igual a la siguiente expresión:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{O,m,j} + 4 \cdot \bar{m}_m \cdot V [2]$$

Donde:

- $\alpha_{m,i}$ se corresponde con el coeficiente de absorción acústica medio de cada paramento, para las bandas de tercio de octava centradas en las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz.
- S_i es el área del paramento (habitualmente suelo, techo, paredes, ventanas y puertas) cuyo coeficiente de absorción es α_i (m^2).
- $A_{O,m,j}$ es el área de absorción acústica equivalente medio de cada mueble fijo absorbente diferente (m^2).
- $4 \cdot \bar{m}_m \cdot V$ refleja la absorción acústica propiciada por el aire del recinto.

Para acceder a los datos requeridos a la hora de implementar la anterior expresión, contamos por un lado con las medidas de dimensiones geométricas tomadas del recinto, y por otro, hacemos uso en cuanto a los coeficientes de absorción establecidos en el catálogo de elementos constructivos del CTE, el cual está redactado con el objeto de servir como ayuda para el cumplimiento de las exigencias generales de diseño de los requisitos de habitabilidad incluidos el DB-HR del CTE.

Acabados de interiores paredes, techos y suelos				
Tipo	HR			
	α			α_m
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	
Hormigón visto	0,03	0,04	0,04	0,04
Hormigón pintado	0,06	0,07	0,09	0,07
Bloque de hormigón visto	0,05	0,08	0,14	0,09
Bloque de hormigón pintado	0,08	0,09	0,10	0,09
Ladrillo cerámico vistos	0,03	0,04	0,05	0,04
Ladrillo cerámico pintados	0,02	0,02	0,02	0,02
Enfoscado de mortero	0,06	0,08	0,04	0,06
Enlucido de yeso	0,01	0,01	0,02	0,01
Placa de yeso laminado	0,05	0,09	0,07	0,06
Placas de escayola	0,04	0,05	0,05	0,05
Piedra	0,01	0,02	0,02	0,02
Madera y paneles de madera	0,08	0,08	0,08	0,08
Parquet	0,04	0,05	0,05	0,05
Tarima	0,08	0,09	0,10	0,09
Tarima sobre rastreles	0,06	0,05	0,05	0,05
Corcho	0,08	0,19	0,21	0,16
Metales	0,01	0,02	0,02	0,02
Revestimientos textiles	0,09	0,14	0,29	0,17
Moqueta, espesor ≤ 10 mm	0,06	0,15	0,30	0,17
Moqueta, espesor ≥ 10 mm	0,15	0,30	0,45	0,30
PVC	0,04	0,05	0,05	0,05
Linóleo	0,03	0,03	0,04	0,03
Caucho	0,04	0,04	0,02	0,03
Terrazo	0,01	0,02	0,02	0,02
Baldosas, plaquetas.	0,01	0,02	0,02	0,02
Vidrio	0,05	0,04	0,03	0,04

Tabla 3-1 Coeficientes de absorción a 500, 1k y 2k Hz y su valor medio. [10]

Por lo tanto, empleando valores de volumen y superficies del recinto y coeficientes de absorción de los parámetros la ficha que aporta el DB-HR para justificar el cumplimiento de las exigencias del Tiempo de reverberación. [8]

Con objeto de alcanzar una mayor precisión en nuestros cálculos, añadimos otros coeficientes de absorción obtenidos en ensayos de laboratorio [11], puesto que el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE únicamente aporta los elementos más comunes.

Tipo de recinto: <i>Recinto vacío</i> Volumen, V (m³):						3.993,750 m³	
Elemento	Acabado	S Área, (m²)	α_m Coeficiente de absorción acústica medio				α_m Absorción acústica (m²)
			500	1000	2000	α_m	
Suelo	<i>Terrazo</i>	766,65	0,01	0,02	0,02	0,02	15,33
	<i>Madera</i>	32,10	0,08	0,08	0,08	0,08	2,57
Techo	<i>Enlucido de yeso</i>	798,75	0,01	0,01	0,02	0,01	10,87
Paramentos	<i>Enlucido de paredes</i>	176,84	0,02	0,03	0,04	0,03	5,31
	<i>Terrazo</i>	327,55	0,01	0,02	0,02	0,02	6,55
	<i>Vidrio</i>	144,11	0,05	0,04	0,03	0,04	5,76
	<i>Madera</i>	9,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,72
							$\Sigma = 47,11$
Objetivos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, $A_{O,m}$ (m²)				$A_{O,m} \cdot N$	
		500	1000	2000	α_m		
<del> $A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{O,m,j} + 4 \cdot \overline{m_m} \cdot V$ </del>							
Absorción aire ⁽²⁾		Coeficiente de atenuación del aire, $\overline{m} = (m^{-1})$				$4 \cdot \overline{m_m} \cdot V$	
		500	1000	2000	α_m		
		0,003	0,005	0,01	0,006	95,85	
A, (m²) Absorción acústica del recinto resultante						142,96	
T, (s) Tiempo de reverberación resultante		$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$				4,49	
Absorción acústica resultante de la zona común		Absorción acústica exigida					
A (m²) =		≥		= 0,2 · V			
Tiempo de reverberación resultante		T (s) =		Tiempo de reverberación exigido			
		4,49		0,9			

Tabla 3-2 Ficha de cálculo teórico del recinto vacío.

Como se aprecia en la ficha anterior, en el cálculo inicial realizado para el Tiempo de reverberación no se han tenido en cuenta ningún elemento perteneciente al mobiliario fijo, pues no poseen carácter de elementos absorbentes. No obstante, conviene indicar que el resultado anterior, se verá modificado al añadir la gran cantidad de superficie textil existente, ya sea en forma de cortinas o manteles, reduciendo el Tiempo de reverberación como se comprobará posteriormente.

EVALUACIÓN DEL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL COMEDOR
DE ALUMNOS DE LA ENM Y DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA MEJORAR EL
CONFORT SONORO DEL RECINTO

Tipo de recinto: <i>Recinto vacío añadiendo manteles y cortinas.....</i> Volumen, V (m³):						3.993,750 m³	
Elemento	Acabado	S Área, (m²)	α _m Coeficiente de absorción acústica medio				α _m Absorción acústica (m²)
			500	1000	2000	α _m	
Suelo	<i>Terrazo</i>	766,65	0,01	0,02	0,02	0,02	15,33
	<i>Madera</i>	32,10	0,08	0,08	0,08	0,08	2,57
Techo	<i>Enlucido de yeso</i>	798,75	0,01	0,01	0,02	0,01	10,87
Paramentos	<i>Enlucido de paredes</i>	176,84	0,02	0,03	0,04	0,03	5,31
	<i>Terrazo</i>	327,55	0,01	0,02	0,02	0,02	6,55
	<i>Vidrio</i>	144,11	0,05	0,04	0,03	0,04	5,76
	<i>Madera</i>	9,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,72
	<i>Revestimiento textil</i>	278,49	0,13	0,22	0,32	0,22	61,27
	<i>Textil (mantel)</i>	273	0,07	0,26	0,30	0,21	57,33
							Σ= 165,71
Objetivos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, A _{o,m} (m²)				A _{o,m} · N	
		500	1000	2000	α _m		
Absorción aire ⁽²⁾		Coeficiente de atenuación del aire, $\overline{m}_a$ (m ⁻¹)				4 · $\overline{m}_a$ · V	
		500	1000	2000	α _m		
		0,003	0,005	0,01	0,006	95,85	
A, (m²) Absorción acústica del recinto resultante						258,02	
$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{o,m,j} + 4 \cdot \overline{m}_a \cdot V$							
T, (s) Tiempo de reverberación resultante						2,49	
$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$							
Absorción acústica resultante de la zona común						Absorción acústica exigida	
A (m²) =						≥ = 0,2 · V	
Tiempo de reverberación resultante						Tiempo de reverberación exigido	
T (s) =						≤	

Tabla 3-3 Ficha de cálculo teórico del recinto con su material textil.

Como se puede comprobar, el factor añadido en cuanto a material textil introduce una gran variación en nuestra predicción del Tiempo de reverberación.

A parte del valor medio calculado, tal y como dicta la norma, se ha comprobado que el valor obtenido de cada frecuencia de estudio (500, 1000 y 2000 Hz) no se desplaza más allá de un 35% respecto al cálculo con el valor medio.

3.2.2 Medición “in situ” del Tiempo de reverberación según norma UNE EN ISO 3382

Debido a nuestra intención de recabar datos que nos permitan evaluar y, por consiguiente, realizar un estudio más preciso de nuestro recinto en pos de alcanzar una mayor caracterización de éste, de cara a encontrar una posterior solución óptima, introducimos en nuestros objetivos el análisis del Tiempo de reverberación de un modo empírico, “in situ”.

Las condiciones de evaluación adoptadas para esta medición son las recogidas y, por lo tanto, validadas, por la norma UNE EN ISO 3382-2. Para la realización de esta medición se establecen tres niveles de exactitud de la medición: control, ingeniería y precisión. La principal diferencia entre estos tres niveles es el número de posiciones y, por tanto, un mayor tiempo requerido para la realización de las pruebas. En nuestro caso nos quedaremos con el nivel de ingeniería, ya que según cita la propia norma:

“El método de ingeniería es adecuado para la verificación del comportamiento de los edificios con respecto a las especificaciones del Tiempo de reverberación o de la absorción del recinto. Se debería utilizar para las mediciones de la Norma ISO 140 (todas las partes) con menciones a las mediciones del Tiempo de reverberación. La precisión nominal se supone superior al 5% en bandas de octava y superior al 10% en bandas de un tercio de octava.

Se realizan mediciones del Tiempo de reverberación para al menos dos posiciones de la fuente. Se requieren al menos seis combinaciones de fuente-micrófono independientes” [12].

Es por ello qué, para nuestro caso de estudio, el nivel de precisión establecido es el nivel ingeniería, ya que, se adecua a nuestras necesidades de información, permitiéndonos alcanzar datos de Tiempo de reverberación. Por otro lado, el nivel de control es adecuado para realizar cálculos que determinan datos referentes a la capacidad de absorción acústica de un recinto, buscando la finalidad en el control del ruido y el aislamiento de ruidos aéreos y de impacto; en el caso del nivel de precisión, establece una serie de medidas a mayores en comparación con el nivel de ingeniería, las cuales para nuestro estudio no son de gran utilidad.

	Control	Ingeniería ^a	Precisión
Combinaciones fuente-micrófono	2	6	12
Posiciones de la fuente ^b	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Posiciones de micrófono ^c	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Número de decrecimientos en cada posición (método del ruido interrumpido)	1	2	3
^a Cuando el resultado se utiliza para un término de corrección en otras mediciones del nivel de ingeniería, solo se requiere una posición de la fuente y tres posiciones de micrófono. ^b Para el método del ruido interrumpido, se pueden utilizar simultáneamente fuentes no correlativas. ^c Para el método del ruido interrumpido y cuando el resultado se utiliza para un término de corrección, se puede utilizar una percha de micrófono rotativo en lugar de múltiples posiciones de micrófono.			

Tabla 3-4 Número de posiciones mínimas a establecer por cada método. [12]

Para la toma de medidas podemos establecer un rango de evaluación de Tr_{20} o de Tr_{30} , para nuestro caso de estudio escogimos 20 dB, tal y como la Norma hace alusión, debido a que:

“a) La evaluación subjetiva de la reverberación está relacionada con la primera parte del decrecimiento del sonido;

b) para estimar el nivel acústico estacionario en un recinto a partir de su Tiempo de reverberación conviene utilizar la primera parte del decrecimiento; y

c) la relación señal/ruido representa a menudo un problema en las mediciones de campo, y a veces es difícil o imposible obtener un rango de evaluación de más de 20 dB. Esto requiere un nivel de señal/ruido de al menos 35 dB.” [12]

Una vez descritas las condiciones de evaluación, a continuación, definimos el procedimiento llevado a cabo. Este puede realizarse de dos modos, según recoge la Norma:

- Método del ruido interrumpido.
- Método de la respuesta impulsiva integrada.

Antes de pasar a definirlos, cabe destacar que ambos métodos deben de obtener los mismos resultados en lo que respecta a Tiempo de reverberación, y en el caso de las frecuencias empleadas para la obtención de este Tiempo de reverberación, la propia norma fija que, en el nivel de ingeniería, al igual que en el de precisión, los rangos de frecuencia deben cubrir desde al menos los 125 Hz hasta los 4000 Hz en bandas de octava, y de 100 Hz a 5000 Hz en bandas de un tercio de octava. Además, en ambos métodos se busca obtener una curva de decrecimiento, la cual es la representación gráfica del decrecimiento que el nivel de presión acústica padece durante un tiempo determinado, una vez cesada la acción de la fuente sonora.

El procedimiento para el primer caso, el método del ruido interrumpido, establece la necesidad de emplear una fuente sonora, como por ejemplo un altavoz. Para realizar las mediciones, esta fuente sonora debería de interrumpirse de manera aleatoria, sin seguir un patrón establecido, y la medición se realizaría calculando el tiempo de caída del nivel sonoro en 60 dB.

El segundo procedimiento, el cual ha sido escogido para nuestra medición, es el de respuesta impulsiva integrada. Este procedimiento consiste en el empleo de una fuente sonora que genere un ruido de forma impulsiva hacia un receptor. Para originar un nivel de presión sonora esta fuente puede ser un disparo de pistola, un chispazo, o como se realizó en nuestro caso, un globo de aire, el cual explotábamos; la única exigencia a la hora de determinar la fuente sonora es que el ruido emitido no fuera en sí mismo reverberante. Para la toma de datos, debe garantizarse al menos una elevación de 35 dB sobre el nivel de ruido presente en el recinto, en el caso de establecer un rango de evaluación de 30 dB, este nivel debe superar los 45 dB al menos.

En nuestro caso, las mediciones se realizaron abordando otras consideraciones añadidas en la Norma, como, por ejemplo, la necesidad de separar el micrófono de cualquier superficie límite (paredes, techo, suelo u otra presente en la sala) un cuarto de longitud de onda; lo cual, para las frecuencias empleadas, se traduce en 1 m, aproximadamente. En el caso de la separación entre las posiciones elegidas para el micrófono, ha sido de media longitud de onda, es decir, 2 m. También debió evitarse el empleo de posiciones simétricas.

Para cada posición de fuente sonora (4 emplazamientos representados cada uno con forma de estrella) se establecieron 3 posiciones diferentes de medición, lo que ha originado finalmente, un total de 12 mediciones del Tiempo de reverberación. De este modo, respetando las indicaciones dadas por la Norma, las posiciones de cada medida son las que se reflejan en la siguiente figura:

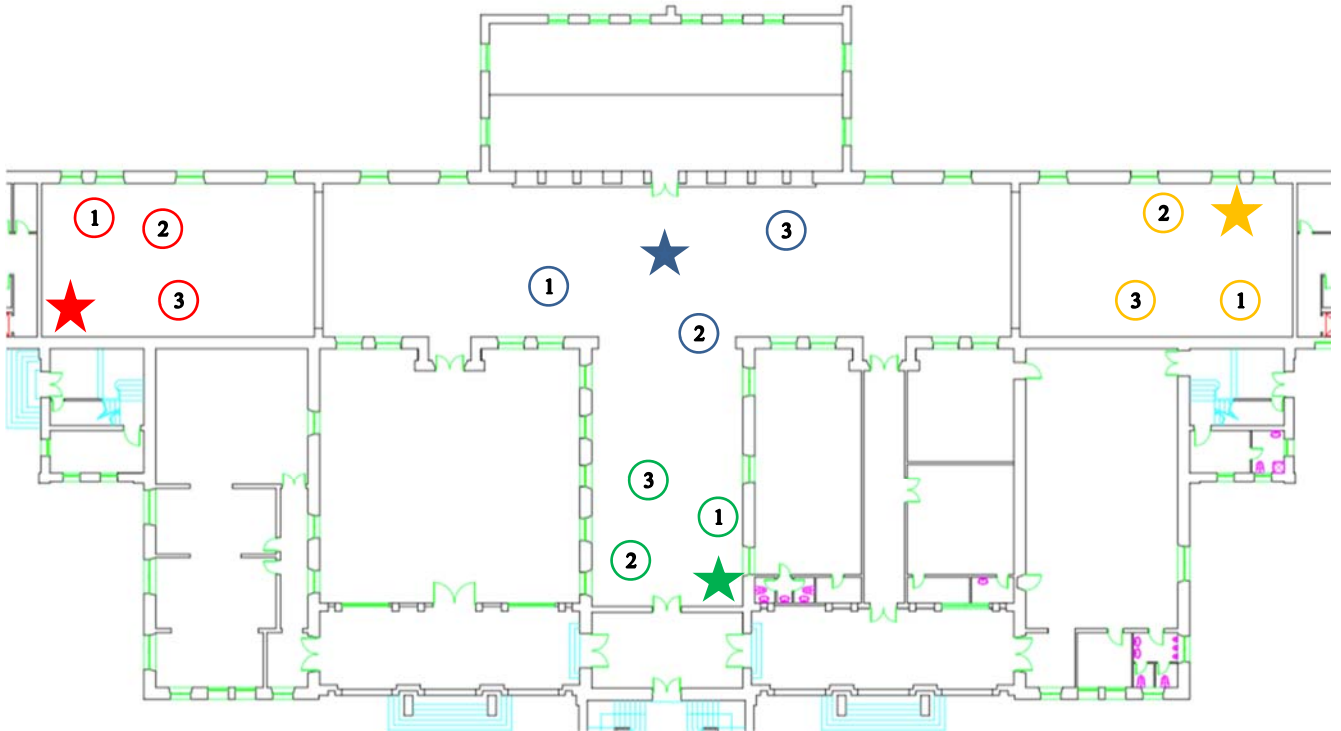


Figura 3-14 Esquema de posiciones empleadas para el ensayo “in situ” y sus puntos de fuentes sonora. Elaboración propia.



Figura 3-15 Imagen del proceso de toma de datos.

EVALUACIÓN DEL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL COMEDOR
DE ALUMNOS DE LA ENM Y DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA MEJORAR EL
CONFORT SONORO DEL RECINTO

La siguiente tabla refleja el Tiempo de reverberación del recinto para cada frecuencia del sonido, y para cada una de las 12 posiciones de medida.

Fr [Hz]	1[s]	2[s]	3[s]	4[s]	5[s]	6[s]	7[s]	8[s]	9[s]	10[s]	11[s]	12[s]	Prom. [s]	Desv.
100	2,92	2,41	2,37	2,46	2,31	2,63	2,22	3,00	2,11	2,79	2,13	2,46	2,48	0,28
125	2,11	2,18	2,01	2,70	2,53	2,36	2,11	2,60	2,08	2,20	2,43	2,19	2,29	0,21
160	2,10	2,08	1,79	2,01	2,21	2,05	2,13	2,04	1,93	2,09	1,94	2,11	2,04	0,10
200	2,01	2,00	2,00	2,02	2,29	2,42	2,01	2,18	2,11	1,69	1,76	1,62	2,01	0,22
250	2,20	2,18	2,08	2,22	2,25	2,57	2,19	2,37	2,07	1,94	2,22	1,86	2,18	0,17
315	1,94	2,03	1,97	2,12	2,12	2,28	2,58	2,23	2,20	1,94	1,83	1,94	2,10	0,19
400	1,94	1,96	1,93	2,26	2,29	2,31	2,02	2,08	2,22	1,88	1,93	1,91	2,06	0,15
500	1,70	1,87	1,88	2,20	1,98	2,09	1,82	1,87	1,81	1,80	1,72	1,70	1,87	0,14
630	1,69	1,89	1,77	1,94	2,01	1,90	1,76	1,83	1,93	1,61	1,77	1,74	1,82	0,11
800	1,77	1,81	1,63	1,99	2,00	1,90	1,82	1,83	1,92	1,71	1,76	1,76	1,83	0,10
1 k	1,82	1,80	1,85	2,21	2,12	2,13	1,86	1,92	1,94	1,89	1,88	1,90	1,94	0,12
1,25 k	1,68	1,76	1,76	2,20	2,17	2,24	1,96	1,89	1,86	1,86	1,87	1,90	1,93	0,17
1,6 k	1,78	1,88	1,79	2,12	2,03	2,07	1,85	1,85	1,83	1,77	1,80	1,80	1,88	0,11
2 k	1,61	1,80	1,71	1,97	1,90	1,88	1,72	1,74	1,78	1,58	1,68	1,63	1,75	0,11
2,5 k	1,57	1,64	1,60	1,82	1,79	1,82	1,64	1,64	1,68	1,51	1,53	1,56	1,65	0,10
3,15 k	1,43	1,48	1,47	1,72	1,71	1,72	1,52	1,49	1,55	1,45	1,43	1,45	1,54	0,11
4 k	1,30	1,29	1,32	1,55	1,57	1,51	1,35	1,34	1,40	1,23	1,26	1,32	1,37	0,10
5 k	1,17	1,16	1,16	1,31	1,37	1,31	1,18	1,21	1,19	1,06	1,09	1,09	1,19	0,09

Tabla 3-5 Resultados obtenidos de los ensayos “in situ” para diferentes frecuencias y posiciones de medición.

En la tabla anterior, se pueden apreciar los resultados derivados de las 12 mediciones del Tiempo de reverberación, cada una de ellas a partir de una generación de ruido impulsivo en el recinto. Estos resultados, además de en forma de tabla, se pueden expresar de modo gráfico:

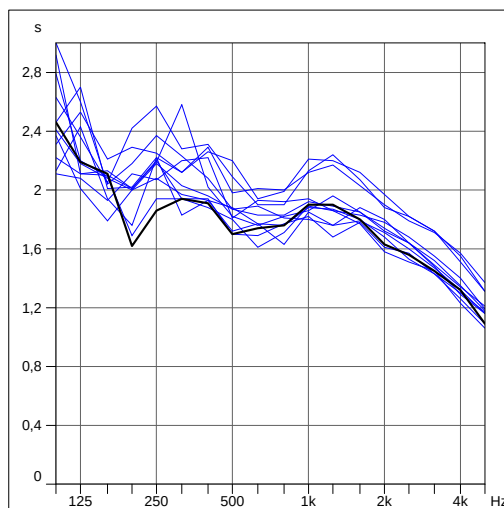


Figura 3-16 Representación gráfica de los diferentes resultados obtenidos.

Una vez obtenidos los 12 diferentes Tiempos de reverberación medidos a partir de cada disparo de foco sonoro y en otras tantas posiciones en el recinto, procedemos a obtener el Tiempo de reverberación global por frecuencias a partir de los valores promedios de las 12 medidas (columna promedio de la tabla 3-5). El cual queda reflejado en el siguiente gráfico:

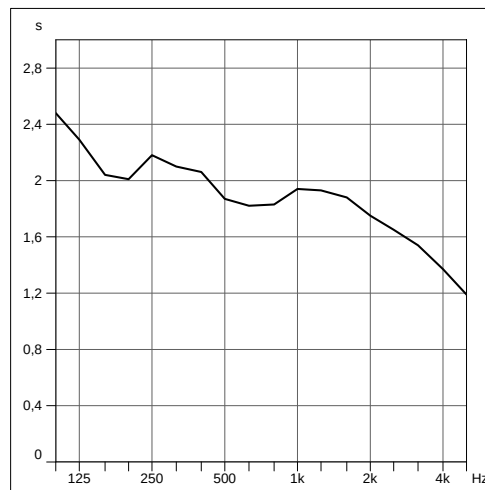


Figura 3-17 Representación gráfica del Tiempo de reverberación promedio derivado de los resultados.

Por último, para obtener nuestro valor de Tiempo de reverberación del recinto, tomamos, tal y como dicta el DB-HR, los valores obtenidos de Tiempo de reverberación para las frecuencias 500 Hz (1,70 s), 1kHz (1,90 s) y 2kHz (1,63 s), y obtenemos su valor medio, resultando un Tiempo de reverberación de 1,74 s.

Estas mediciones “in situ” se llevaron a cabo con un sonómetro modelo 2260 de la marca comercial *Brüel & Kjaer*. Y, posteriormente, todos los datos fueron volcados en soporte informático por el software Qualifier 7830 de la misma empresa.



Figura 3-18 Sonómetro Brüel & Kjaer, modelo 2260. [13]

3.2.3 Diagnóstico: Análisis de los resultados obtenidos

Analizando, en primer lugar, los resultados obtenidos mediante las fichas de cálculo teórico, se aprecia como la elección de materiales de acabado en los paramentos del comedor de alumnos de la ENM no es todo lo adecuada que debería, pues el Tiempo de reverberación del recinto

(2,49 s) es muy superior al valor máximo de referencia que establece el DB-HR para la edificación en espacios destinados a la restauración (0,9 s). Haciendo patente la necesidad de introducir un mayor número de elementos fonoabsorbentes, incrementando la superficie de éstos, ante la escasez que muestra el comedor.

Con respecto a los resultados obtenidos en las mediciones “in situ”, podemos indicar que, inicialmente, pueden parecer poco realistas frente a lo que esperamos debido, en primer lugar, a la sensación acústica y la evidente mala Inteligibilidad de la palabra que el propio comedor de alumnos de la Escuela Naval Militar denota. Esta falsa apariencia se deriva de la baja magnitud del Tiempo de reverberación obtenido (1,74 s) respecto al esperado, pero, pasando por una valoración más en detalle, se tiene en cuenta una especial consideración sobre las condiciones del propio recinto, y es que, para la toma de medidas, resulta relevante el considerar el mobiliario existente en el recinto. Para que las mediciones obtenidas puedan compararse directamente con el límite normativo (0,9 s), el comedor debería encontrarse vacío, y, en nuestro caso, ante la imposibilidad de llevar a cabo la retirada de todo el mobiliario y su correspondiente mantelería (material que actúa como absorbente), estos quedaron en el interior. No obstante, teniendo en consideración este aspecto, y evaluando el resultado obtenido, vemos que el Tiempo de reverberación dista, aún así, en más de 0,8 s, con lo que el DB-HR estipula el nivel máximo exigido, el cual representa un Tiempo muy a tener en cuenta.

Estos resultados nos llevan a evidenciar la necesidad de actuar sobre el comedor, puesto que la diferencia mostrada entre los valores límites y los que actualmente se registran, difieren sustancialmente, agravando los efectos de la problemática del ruido.



Figura 3-19 Elementos presentes durante la toma de muestras.

3.3 Propuesta de mejora para incrementar el confort acústico

En nuestro afán por conseguir reducir el Tiempo de reverberación existente en nuestro recinto, se han evaluado una serie de propuestas para solventar la problemática presentada. En su totalidad se corresponden con materiales absorbentes, los cuales provocaran un mayor acondicionamiento acústico al comedor. Se debe tener en cuenta que los coeficientes de absorción de un material dependen, de forma muy importante, de su manera de montaje o instalación, por lo que es, en gran medida, primordial el acceder a las recomendaciones de uso del fabricante.

Cabe recordar que el objetivo de reducir el Tiempo de reverberación debe ir en consonancia con no perder el carácter noble de los materiales que presenta el actual recinto, puesto que nos encontramos ante un edificio de notable antigüedad y belleza.

3.3.1 Análisis de las posibles alternativas

Pese a ser un efecto conocido desde hace siglos el sector de la acústica avanza lentamente, siendo continuo el avance en nuevas técnicas y materiales. A continuación, se expondrán los elementos más habituales y satisfactorios para diferentes situaciones, los cuales supondrán base para elegir nuestra posterior propuesta de mejora, en función de una serie de variables.

3.3.1.1 Elementos absorbentes fijos

En este apartado entran diferentes elementos absorbentes, mentados anteriormente, como son los resonadores, paneles perforados y, en general, elementos porosos, los cuales pueden satisfacer ampliamente nuestras necesidades.

- Paneles perforados.

Son, en general, una forma de hacer alusión a resonadores múltiples. Estos elementos son muy útiles porque, aunque representen el trabajo de un grupo de resonadores, puede ajustarse, e instalarse, de modo que sus efectos de absorción puedan superar ampliamente el margen de frecuencias, tanto por arriba, como, por abajo a la cual funciona un resonador. Para ello, se requiere una instalación dejando una cámara de aire adecuada y una complementación de materiales absorbentes, como lanas u otros.

En concreto los paneles *Decustik*, como por ejemplo el *modelo PAP018*, son paneles acústicos perforados con agujeros alineados, entre los cuales hay 16 mm de distancia, y el orificio en sí consta de un diámetro de 8 mm, empleándose junto a una capa de lana mineral.

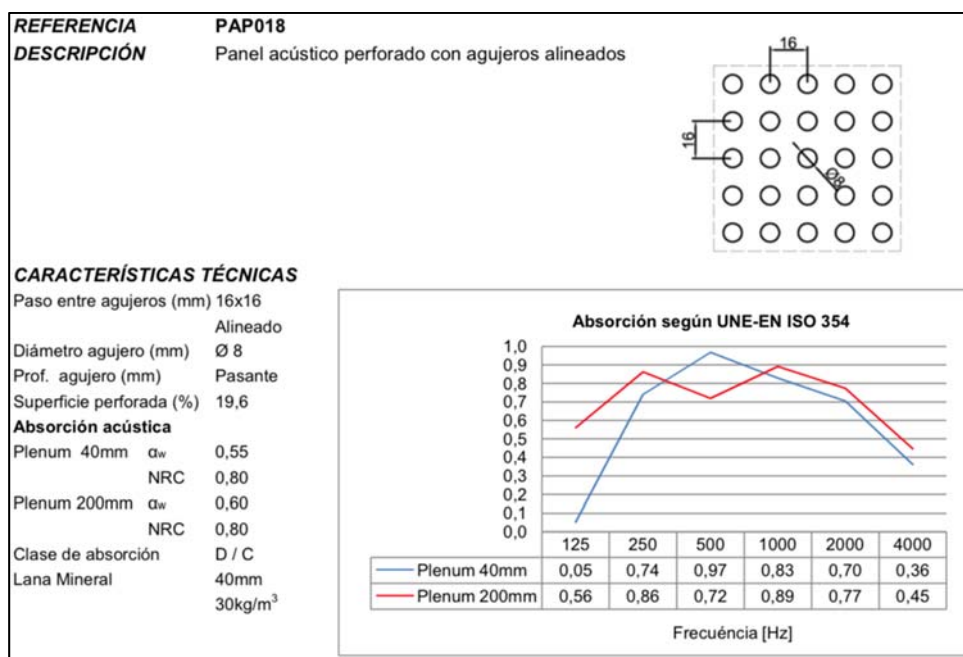


Figura 3-20 Características técnicas de un panel absorbente perforado de la marca *Decustik*. [14]

Además de éstos, otra empresa líder en el sector de los paneles es la empresa *Gustafs*, especializada en sistemas de paneles. Esta otra opción nos lleva a estudiar, no solo las cuestiones meramente acústicas, sino también, cuestiones estéticas, pues esta empresa lleva años en la vanguardia del diseño. Sus paneles cuentan también con gran resistencia frente al fuego (resistencia del tipo Euroclass). Estos paneles pueden instalarse en conjunción con lanas minerales y cámaras de aire para, así, permitir una máxima absorción.

De entre los principales materiales a emplear por esta empresa destacan los paneles de yeso con fibras de madera, los cuales pueden ser perforados o ranurados, ofreciendo cada uno de ellos un mayor o menor efecto en determinadas frecuencias. Además de elegir entre el tipo de perforación (agujereado

o ranurado), se puede determinar el tamaño del orificio, generando así una mejor respuesta, en términos de absorción, a los ruidos presentes en el recinto.

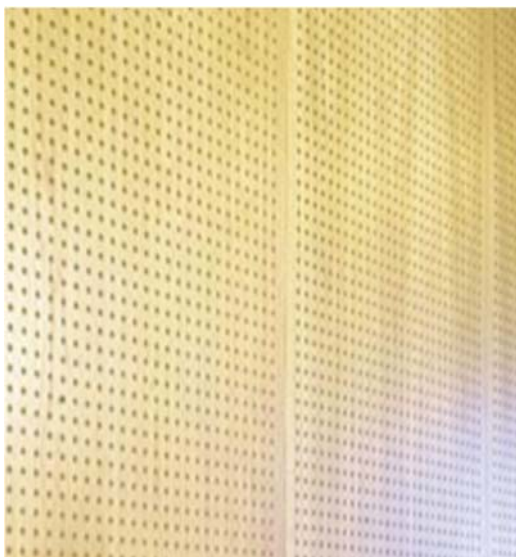


Figura 3-21 Panel *Gustafs* perforado. [15]

- Resonadores.

Son elementos muy adecuados para absorber bajas frecuencias. Su funcionamiento depende de la profundidad de su cavidad y de si comparte sus ventajas con las que proporcionan los elementos absorbentes porosos o similares al emplearse en el interior de ella.

- Elementos fonoabsorbentes.

De gran capacidad de absorción, con diferentes modelos y acabados. Estos elementos favorecen a nivel estético y, entre sus muchas ventajas, cuentan con una fácil y rápida instalación, permitiendo mejorar las características acústicas de un recinto en escasas horas.

Estos elementos están compuestos por una espuma de resina de melanina de celda abierta, lo cual ofrece coeficientes de absorción de hasta 0,9, y siendo principalmente instalados en techo y paredes.

Los más habituales son de formas cilíndricas, pero se pueden encontrar numerosas geometrías (como cubos y poliedros en general).



Figura 3-22 Elementos fonoabsorbentes. [16]

- Falsos techos.

Quedan generalmente enmarcados en el campo de paneles acústicos. Sus ventajas son la capacidad de aportar una cámara de aire marcada, de modo que ofrecen una gran mejora en absorción acústica. Estéticamente, rara vez resultan dañinos al recinto en el que se instalan. Su modo de instalación puede permitir el ver o no los diferentes elementos de sustentación de estos techos, enriqueciendo el valor estético.

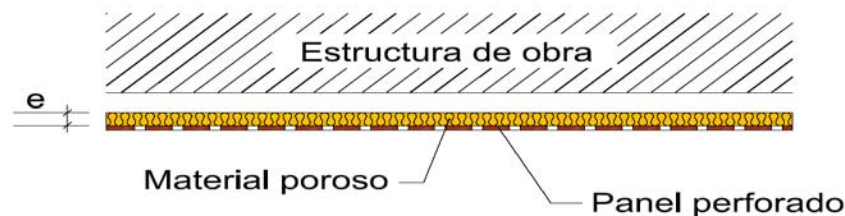


Figura 3-23 Tipos de instalación de paneles para falsos techos. [2]

- Celulosa proyectada.

Este método supone la aplicación de una celulosa sobre las superficies límites de un recinto (techo o pared), dejando un acabado el cual, por su resiliencia, las fibras del espray absorben enormes cantidades de energía acústica en lugar de reflejarla, debido a que la superficie resultante es totalmente porosa e irregular. Esto favorece la reducción de la potencia sonora, Tiempo de reverberación y hace inteligibles la música y voz, permitiendo además crear un efecto de difusión del sonido, por su aspecto irregular. Una aplicación de 25 mm puede reducir el nivel de ruido de 8 a 15 dB, y reducir el Tiempo de reverberación en un 80%.

Además, es realmente recomendable para favorecer recintos nobles, existiendo multitud de colores y de acabados.



Figura 3-24 Acabado de un techo tratado con celulosa proyectada. [17]

Así, por ejemplo, la empresa *Sonaspray*, aplica una capa de celulosa proyectada de *modelo K-13*, de las cuales tras varios ensayos se han obtenido el valor de sus coeficientes de absorción, representados en la siguiente figura.

Coeficientes de absorción α_s e NRC								
K13 std	mm espesura	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	NRC
	16	0,14	0,43	0,93	0,95	1,05	1,14	0,85
	25	0,20	0,55	0,95	1,00	1,00	0,95	0,90
	38	0,20	0,66	1,09	1,04	1,05	1,06	0,95
	50	0,31	0,89	1,01	1,01	1,06	1,08	1,00
	76	0,49	1,04	1,07	1,07	1,05	1,09	1,05
K13 special	mm espesura	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	NRC
	12,5	0,09	0,22	0,58	0,79	0,98	1,04	0,65
	16	0,1	0,35	0,83	0,88	0,99	1,04	0,75
	19	0,09	0,35	0,87	0,87	1,03	1,07	0,80
	25	0,14	0,54	0,93	1,03	1,08	1,05	0,90
	32	0,18	0,6	0,98	1,03	1,04	1,05	0,90
SonoSpray FC	mm espesura	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	NRC
	12	0,15	0,16	0,46	0,87	1,07	1,12	0,65
	19	0,18	0,27	0,67	1,02	1,11	1,12	0,75
	25	0,22	0,38	0,88	1,16	1,15	1,12	0,90

Figura 3-25 Coeficientes de absorción de celulosa proyectada Sonaspray. [18]

- Suelos acústicos.

El actuar sobre todas las superficies límites de un recinto reduciendo la reflexión del sonido es sinónimo de acondicionamiento acústico. Esto se lleva a cabo no solo en paredes y techo, sino también en suelos. Para la problemática de un elevado Tiempo de reverberación existen gran variedad de materiales que permiten solventar éste, pero para el caso de los suelos no existen tantos materiales adecuados.

El principal inconveniente que presenta un suelo de material adecuado para la absorción acústica es la propia naturaleza de este tipo de materiales, comúnmente flexibles, porosos, etc. Para el suelo estos materiales no son adecuados por producir inestabilidad en el personal, además de requerir de un elevado mantenimiento.

No obstante, se valoran diferentes posibilidades para incrementar el confort acústico en suelos. Estas soluciones, pasan por el empleo de moquetas, cerámicas adecuadas, tarimas flotantes o parquet. Todas ellas presentan diferentes soluciones y requieren de un cuidado diferente. El mayor acondicionamiento acústico del recinto se deberá en mayor medida al tipo de instalación llevada a cabo, ya que la instalación de este tipo de suelos, puede ir, por ejemplo, acompañada al empleo de una capa de celulosa proyectada, instalación de una cámara de aire inferior, o combinaciones, que permitan reducir en gran medida los ruidos de impacto.



Figura 3-26 Instalación de un suelo con beneficio para acondicionamiento acústico. [19]

- Mantelería.

Como no podía tratarse de otro modo, la evolución tecnológica en la industria textil ha facilitado, en gran medida, su aplicación en determinados recintos, en referencia a acústica. En el caso de un comedor no puede obviarse la capacidad absorbente que presentan estos tejidos, siendo el mantel uno de los principales factores a tener en cuenta.

Con la superficie textil que se puede encontrar en un comedor de similares dimensiones al de nuestro recinto de estudio, el efecto sobre el Tiempo de reverberación es fácilmente apreciable, llegándose a alcanzar valores de coeficientes de absorción de manteles de hasta 0,80.

El inconveniente con el que cuentan estos elementos absorbentes, radica en su mantenimiento, puesto que, las condiciones y procesos, como los lavados que se lleven a cabo, pueden reducir considerablemente el rendimiento acústico perseguido.

3.3.1.2 Elementos absorbentes variables

Este tipo de elementos consiguen distintas condiciones acústicas que son de gran utilidad, ya que con su empleo podemos conseguir que un recinto, de forma rápida y cómoda, adquiera un buen Tiempo de reverberación en un entorno musical, y, con solo actuar sobre el elemento, conseguir un Tiempo de reverberación bajo para adecuar un recinto a un uso diferente, como el de un home cinema.

Pueden ser usados de forma que cuando se encuentren desplegados, ofrezcan la totalidad de su superficie útil con el propósito de aumentar la superficie absorbente; pero, además, en caso de no requerir su uso, o simplemente por aspectos estéticos, estos pueden plegarse y no ofrecer ninguna, o mínima, absorción. Este es el caso de las cortinas, alfombras, paneles móviles y otros dispositivos.

- Cortinas traslúcidas.

Estos elementos son dispositivos acústicos de tipo poroso. Generalmente, estas cortinas suelen ser gruesas y pesadas, como puede ser el caso de las cortinas de terciopelo, las cuales poseen coeficientes de absorción muy cercanos a 1. Por otro lado, podemos encontrar una variedad de cortinas traslúcidas, las cuales son ligeras y pueden llegar a alcanzar valores de coeficientes de absorción de hasta 0,8.

Este caso puede corresponderse con los modelos de cortinas *Silent Space*, las cuales presentan una reacción al fuego B1 (de acuerdo con DIN 4102) que se instalan a 15 cm del paramento, y se encuentran disponibles en varios colores para permitir un empleo estéticamente adaptado con el propio entorno al que se pretende aplicar, apreciándose 3 modelos:

- *Streamer Pro* ($\alpha = 0,8$): Su densidad es de 131 g/m² y anchura de hasta 295 cm.
- *Liquid* ($\alpha = 0,6$): Con densidad de 88 g/m² y anchura de hasta 150 cm.
- *Whisper* ($\alpha = 0,6$): Con densidad de 102 g/m² y anchura de hasta 300 cm.

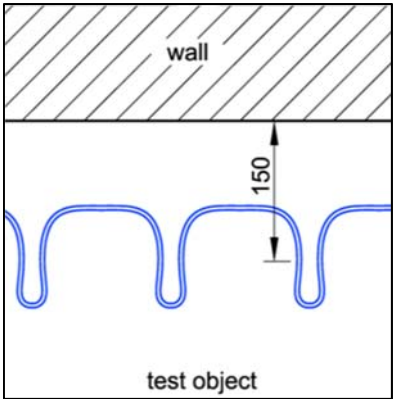


Figura 3-27 Detalle de condiciones de medición en laboratorio según la Norma EN ISO 354. [20]

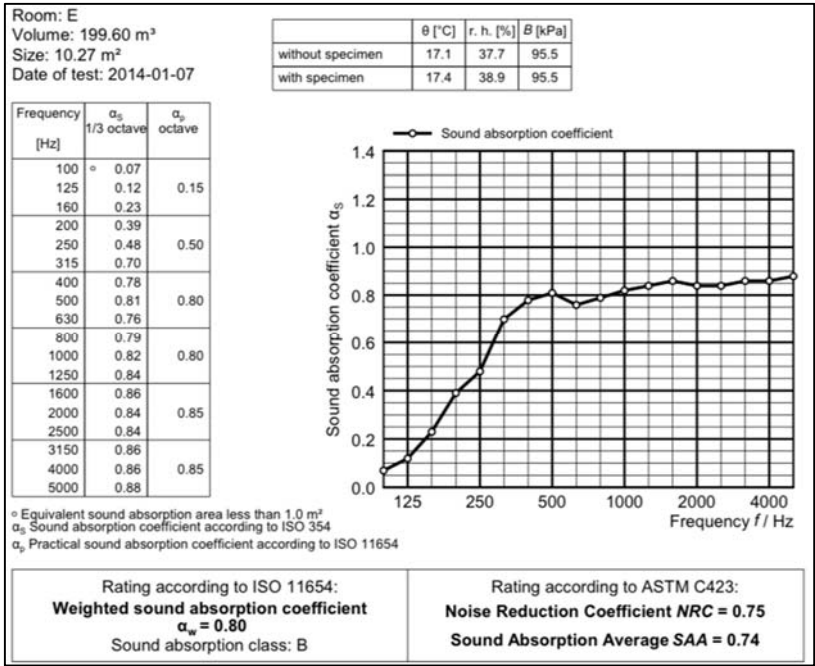


Figura 3-28 Resultados obtenidos en un ensayo en cámara reverberante de una cortina tipo *Streamer Pro*. [20]

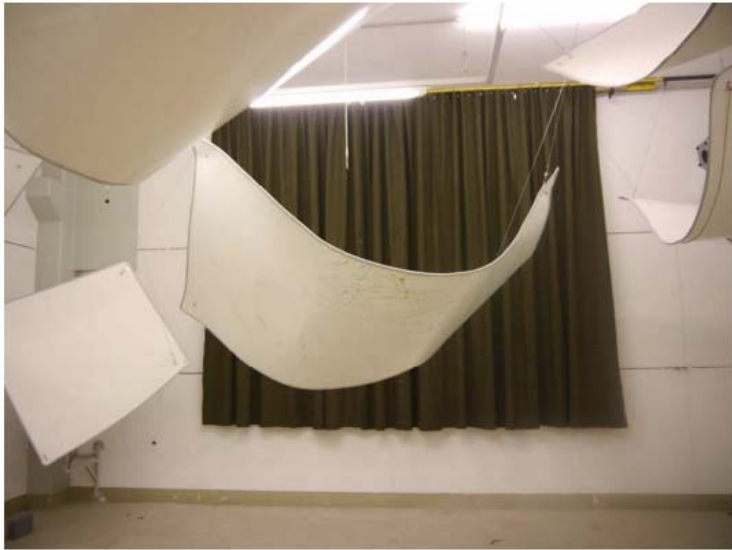


Figura 3-29 Modelo de cortina *Streamer Pro*, bajo estudio en una cámara reverberante. [20]

No obstante, estos elementos textiles de acústica variable requieren de una instalación específica atendiendo a dos factores en concreto, el Plenum y el Vuelo. El primero de ellos equivale a la cámara de aire generada por la distancia o separación existente entre la cortina y el paramento; así pues, un Plenum denominado técnicamente de 8,5 equivale a una distancia entre la cortina y la pared de 8,5 cm. En este sentido, cuanto mayor sea la distancia de instalación respecto al paramento del recinto, mejores prestaciones absorbentes acústicas conseguiremos con el mismo elemento textil. El segundo término actúa en combinación con el Plenum y se expresa en porcentajes, siendo el 0% el equivalente a la cortina sin vuelo (la cortina se vería lisa y con la superficie coincidente a la de la propia ventana) y 100% implicaría una cortina con el doble de tela para realizar el fruncido (superficie equivalente al doble de la del hueco que protege), 150% a la cortina con 2,5 veces más de tela que la ventana y un 200% representaría hasta el triple de superficie de tela para el fruncido respecto a la propia ventana. A continuación se reflejan resultados de absorción acústica realizados en laboratorio para una misma cortina en función del Plenum y Vuelo:

Textil / Textile	Plenum / Plenum (cm)	Fruncido / Fullness (%)	Alpha medio / Average alpha (400Hz-2500Hz)	α_w / α_w UNE EN ISO 140 11654:1998
T1	8.5	0	0.45	0.25
		100	0.55	0.35
		150	0.60	0.45
		200	0.55	0.45
	14.5	0	0.45	0.30
		100	0.65	0.40
		150	0.65	0.45
		200	0.50	0.40

Tabla 3-6 Efectos del plenum y el vuelo en un mismo material textil. [21]

- Cortinas fonoabsorbentes de lamas verticales.

Estas cortinas cuentan con elementos orientables y están formadas por un núcleo fonoabsorbente de espuma de celda abierta protegido por un revestimiento textil acústico. Ofrecen una absorción acústica variable no solo en cuanto a encontrarse plegadas o no, sino que también pueden variarse los valores de absorción según se abran sus lamas (para $90^\circ \alpha = 0,37$, y para $180^\circ \alpha = 0,45$).

En cuanto a las lamas, tienen una anchura de 133 mm, un espesor de 12 mm y una altura máxima de 3 m. Estas lamas pueden, a su vez, comercializarse en un formato único o cortado a su vez en 3 tiras, lo cual ofrece una mayor calidad en cuanto a absorción. A parte, en función del color que se elija puede conseguirse una reflexión lumínica de hasta el 80%, existiendo 24 colores de la gama de tejidos *Aeria*, que permiten el paso del sonido manteniendo las propiedades acústicas del núcleo absorbente.

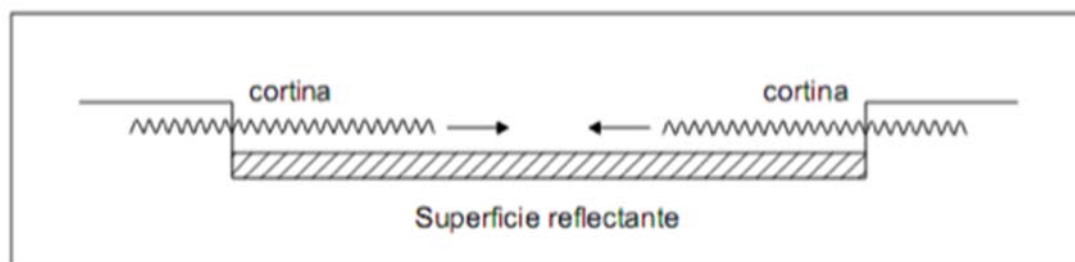


Figura 3-30 Esquema ilustrativo de cortinas absorbentes. [22]

- Cuadros acústicos.

En el marco de las necesidades de establecer un acondicionamiento acústico adecuado, nos encontramos con situaciones en las cuales el valor estético no puede quedar atrás. Fruto de este razonamiento, se han alcanzado nuevas soluciones como son los conocidos cuadros acústicos. Este tipo de cuadros pueden incorporar cualquier tipo de imagen, ya sean fotos, pinturas u otros. Esta necesidad de mantener el valor estético se complementa con la mejor aplicación en materiales

fonoabsorbentes, realizando las impresiones en un textil microperforado el cual constituye, en función de la superficie, un adecuado absorbente.



Figura 3-31 Ejemplo de cuadro acústico en un restaurante. [22]

- Paneles móviles.

Supone una solución muy versátil. Los paneles se emplean principalmente en áreas específicas a las cuales queremos dar un extra de aislamiento. Son muy comunes en estudios de radio, donde se pretende aislar una mesa concreta, o en aquellas situaciones en que no se puede ejecutar una instalación fija. Ofrecen rapidez de colocación, sencillez y fácil recogida.



Figura 3-32 Paneles separadores acústicos. [22]

3.3.2 Diagnóstico de variables: Solución óptima

Atendiendo a una elección multicriterio de los diferentes elementos propuestos con anterioridad, determinaremos conforme a las necesidades y las posibilidades la solución óptima a nuestro problema acústico. Conviene recordar, que, dentro de nuestros objetivos de acondicionamiento, existe la premisa de tratar de mantener el noble aspecto estético que luce el comedor actualmente.

Todas las propuestas mencionadas anteriormente, como puede apreciarse, requieren de una sencilla y mínima instalación, lo cual minimizará las obras y el tiempo de ejecución, pudiendo incluso llevarse a cabo durante cualquier parón lectivo que presente el centro y no únicamente en el periodo estival.

- Primera propuesta.

En primer lugar, el elevado Tiempo de reverberación detectado en el comedor de alumnos de la ENM requiere actuar sobre una gran superficie de éste. Dado que el valor histórico del edificio, el recinto se ve muy influenciado por sus paramentos de mármol, de modo que la superficie que mejor puede ser modificada es el techo.

Por ello, la solución que se propone es la de incluir unos elementos cilíndricos fonoabsorbentes, aprovechando la gran cantidad de superficie presente en nuestro recinto. De modo que el impacto sonoro se vea influenciado, pero se mantenga el valor estético, se pretende que estos elementos sean de un grosor discreto y de un color que no desentone con el estado actual.

Atendiendo a estos requisitos, se propone un modelo concreto derivado de observar otras actuaciones acústicas en la provincia de la empresa *Isinac*, el cual presenta unas prestaciones muy aconsejadas.

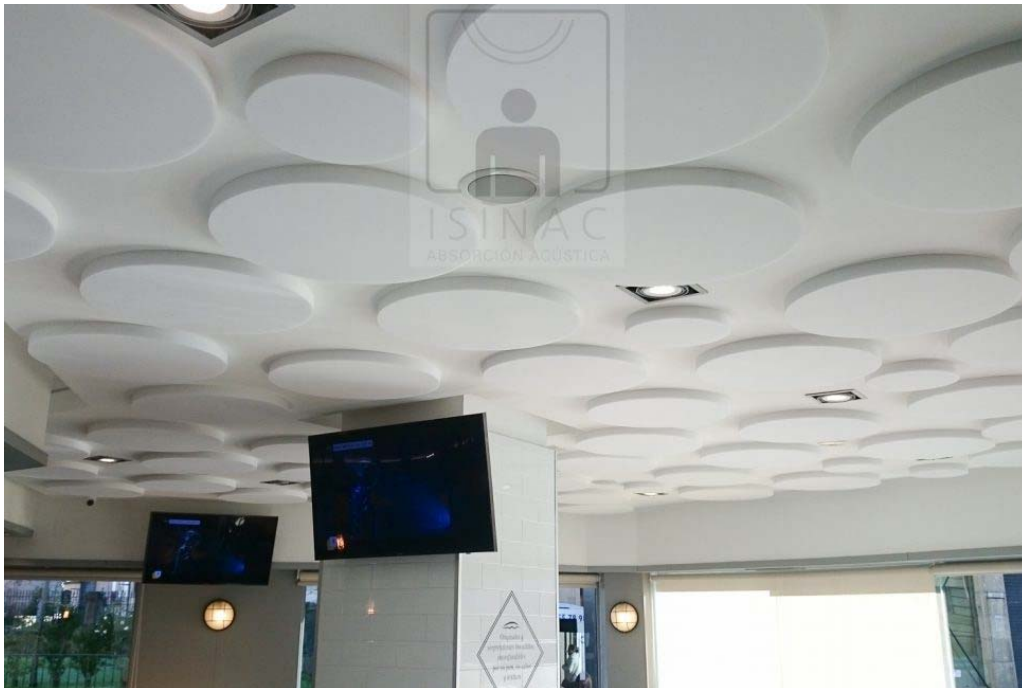


Figura 3-33 Elementos fonoabsorbentes propuestos. [16]

Realizando un estudio según la ficha de cálculo predictivo del DB-HR, obtenemos las siguientes modificaciones en el Tiempo de reverberación del comedor de alumnos una vez se ejecutasen los elementos fonoabsorbentes, conforme a los valores de absorción acústica que nos aporta el fabricante [16].

EVALUACIÓN DEL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL COMEDOR
DE ALUMNOS DE LA ENM Y DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA MEJORAR EL
CONFORT SONORO DEL RECINTO

Tipo de recinto: <i>Recinto añadiendo el efecto de los elementos absorbentes.....</i> Volumen, V (m³):							3.993,750 m³
Elemento	Acabado	S Área, (m²)	α _m Coeficiente de absorción acústica medio				α _m Absorción acústica (m²)
			500	1000	2000	α _m	
Suelo	<i>Terrazo</i>	766,65	0,01	0,02	0,02	0,02	15,33
	<i>Madera</i>	32,10	0,08	0,08	0,08	0,08	2,57
Techo	<i>Enlucido de yeso</i>	564,95	0,01	0,01	0,02	0,01	5,65
	<i>Elementos fonoabsorbentes</i>	234,26	0,76	0,86	0,96	0,86	201,46
Paramentos	<i>Enlucido de yeso</i>	176,84	0,02	0,03	0,04	0,03	5,31
	<i>Terrazo</i>	327,55	0,01	0,02	0,02	0,02	6,55
	<i>Vidrio</i>	144,11	0,05	0,04	0,03	0,04	5,76
	<i>Madera</i>	9,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,72
	<i>Revestimiento textil</i>	278,49	0,13	0,22	0,32	0,22	61,27
	<i>Textil (mantel)</i>	273	0,07	0,26	0,30	0,21	57,33
							Σ= 343,65
Objetivos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, A _{o,m} (m²)				A _{o,m} · N	
		500	1000	2000	α _m		
Absorción aire ⁽²⁾		Coeficiente de atenuación del aire, $\overline{m}_m \text{ (m}^{-1}\text{)}$				$4 \cdot \overline{m}_m \cdot V$	
		500	1000	2000	α _m		
		0,003	0,005	0,01	0,006	95,85	
A, (m²) Absorción acústica del recinto resultante						439,5	
$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{o,m,j} + 4 \cdot \overline{m}_m \cdot V$							
T _r (s) Tiempo de reverberación resultante						1,40	
$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$							
Absorción acústica resultante de la zona común						Absorción acústica exigida	
A (m²) =						≥ = 0,2 · V	
Tiempo de reverberación resultante						Tiempo de reverberación exigido	
T (s) =						≠	

Tabla 3-7 Ficha de cálculo teórico del recinto añadiendo material fonoabsorbente.

Se aprecia como el Tiempo de reverberación se ve reducido sustancialmente, aunque podría aún aumentarse esta superficie absorbente, al haber margen dentro de la superficie disponible en nuestro comedor. No obstante, el elemento empleado, no es el único ofertado, pudiendo elegirse entre elementos cilíndricos, cúbicos, e incluso, poliédricos. Todos ellos ofrecen distintos acabados y pueden revestirse de una capa textil existente en varios colores.

Por otro lado, al contar con la posibilidad de elementos de diversos colores, pueden ser, también, colocados en superficies diferentes, como son las paredes, actuando sobre el enlucido, aumentando considerablemente la absorción acústica en el recinto.

El precio de esta reforma en el comedor de alumnos se situaría, aproximadamente, en los 33.000,00 €. Al ser instalados los elementos absorbentes acústicos sobre paramentos no alcanzables fácilmente su mantenimiento sería reducido; no siendo así, la instalación de ciertos tableros a baja altura, donde el personal presente en el comedor podría deteriorarlos con el paso del tiempo.

Producto	Cantidad	Precio Unidad (€)	Precio Total (€)
PIEZA ISINAC CIRCULAR BLANCA 610,60 mm adhesiva	400 Ud.	26,00	10.400,00
PIEZA ISINAC CIRCULAR BLANCA 1220,60 mm adhesiva	100 Ud.	104,00	10.400,00
Ejecución en obra (Realizada por YESOS GALICIA SL)	7 días	880,00	6.160,00
Transporte de material acústico para su instalación en obra	78 Ud.	10,00	780,00
		IVA	5.825,40
		TOTAL	33.565,40

Tabla 3-8 Presupuesto de instalación de elementos fonoabsorbentes. [23]

Como se aprecia, el presupuesto contempla el precio de los productos y la instalación por parte de una empresa especializada y del transporte del material. La duración de la obra se estima en 7 días. El precio final, incluye el IVA.

Por otro lado, se aconseja la opción de añadir diferentes tamaños de piezas circulares, pues los aspectos estéticos, aunque la capacidad de absorción se mantenga, estará entre los principales objetivos a no descuidar.

- Segunda propuesta.

Continuando con este elemento, el proveedor ofrece la posibilidad de introducir cuadros fonoabsorbentes. Con esta alternativa, y actuando sobre la estética del comedor, podría proponerse la elaboración de dos cuadros fonoabsorbentes en los fondos del comedor, serigrafiando en éstos el escudo de la Escuela Naval Militar. De este modo, se enriquecería la belleza del comedor, a la vez que se reduciría el impacto negativo que presentan los espejos finales de estos pasillos, los cuales son completamente reflectantes; consiguiendo una reducción de un 10% del Tiempo de reverberación respecto al calculado una vez añadidos el resto de elementos fonoabsorbentes. El coste que representaría este elemento en las medidas de acondicionamiento del recinto se situaría en 1500 € (el precio de transporte y de ejecución en obra ya estaría incluidos en el precio indicado, para tales conceptos, en la solución definida anteriormente).

- Tercera propuesta.

Para continuar con el acondicionamiento acústico, se propone una instalación de elementos absorbentes variables como son nuevas cortinas. Esta opción, viene determinada, en primer lugar, por la pobre imagen actual que presentan las actuales, y, en segundo lugar, por la gran cantidad de superficies de cortinas con las que cuenta el comedor.

Si todo el textil presente en forma de cortina se sustituyera por una cortina con un coeficiente de absorción mayor, como es el caso de las cortinas de la empresa *Dabedán*, cuenta con numerosos modelos de diferentes precios y prestaciones. Obtendríamos los siguientes resultados tomando como

EVALUACIÓN DEL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL COMEDOR
DE ALUMNOS DE LA ENM Y DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA MEJORAR EL
CONFORT SONORO DEL RECINTO

ejemplo el modelo de prendas *Gregal*, de una calidad media y que presenta, tras ensayos en cámara reverberante, un coeficiente de absorción medio de 0,83 (para valores de 500, 1000 y 2000 Hz).

Tipo de recinto: <i>Recinto modificando las cortinas</i> Volumen, V (m³):							3.993,750 <i>m³</i>
Elemento	Acabado	S Área, (m²)	α _m Coeficiente de absorción acústica medio				α _m Absorción acústica (m²)
			500	1000	2000	α _m	
Suelo	<i>Terrazo</i>	766,65	0,01	0,02	0,02	0,02	15,33
	<i>Madera</i>	32,10	0,08	0,08	0,08	0,08	2,57
Techo	<i>Enlucido de yeso</i>	798,75	0,01	0,01	0,02	0,01	10,87
Paramentos	<i>Enlucido de paredes</i>	176,84	0,02	0,03	0,04	0,03	5,31
	<i>Terrazo</i>	327,55	0,01	0,02	0,02	0,02	6,55
	<i>Vidrio</i>	144,11	0,05	0,04	0,03	0,04	5,76
	<i>Madera</i>	9,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,72
	<i>Cortinas Dabedán</i>	278,49	0,76	0,86	0,88	0,83	231,15
	<i>Textil (mantel)</i>	273	0,07	0,26	0,30	0,21	57,33
							Σ= 335,59
Objetivos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, A _{O,m} (m²)				A _{O,m} · N	
		500	1000	2000	α _m		
Absorción aire ⁽²⁾		Coeficiente de atenuación del aire, $\overline{m} = (m^{-1})$				$4 \cdot \overline{m} \cdot V$	
		500	1000	2000	α _m		
			0,003	0,005	0,01	0,006	95,85
A _r (m²) Absorción acústica del recinto resultante	$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{O,m,j} + 4 \cdot \overline{m}_m \cdot V$						431,44
T _r (s) Tiempo de reverberación resultante	$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$						
Absorción acústica resultante de la zona común			Absorción acústica exigida				
A (m²) =				≥		= 0,2 · V	
Tiempo de reverberación resultante			Tiempo de reverberación exigido				
T (s) =			1,49	≠	0,9		

Tabla 3-9 Ficha de cálculo teórico del recinto añadiendo material textil.

Estos resultados muestran como el efecto conseguido sería prácticamente equivalente al de la inclusión de elementos cilíndricos fonoabsorbentes. En el caso de los manteles, se ha decidido que, pese al gran efecto positivo que llevaría a cabo su sustitución, no suponen una gran solución, puesto que el coste de éstos sería muy superior y su mantenimiento delicado, perdiendo la calidad de absorción al poco tiempo debido al uso.

En cuanto al presupuesto referente a esta opción, quedaría pendiente de elaboración. No obstante, para hablar de datos de referencia, se ha investigado acerca de unas cortinas económicas, que aunque adecuadas para aislamiento acústico, aportan, así mismo, un buen valor de absorción sonora y, por tanto, serían adecuadas como medida de acondicionamiento para nuestro caso. El valor de tales elementos textiles, que tendrían un acabado opaco, rondaría los 94 € por cortina. Sus características serían: 3 m x 2,91 m, con un gramaje de 300 g/m², disponibles en varios colores e instaladas sobre

barras, tal y como se encuentran las actuales en el comedor de alumnos. Realizando el cálculo de la cantidad de cortinas necesarias en nuestro recinto (27 ventanas), obtendríamos un presupuesto aproximado de 2600 €, constituyendo una superficie final de 235,71 m². No obstante, se ha de tener en cuenta que estos datos son meramente orientativos tanto a efectos presupuestarios, como técnicos, puesto que la calidad y superficie presupuestada es inferior a la estudiada.

- Solución óptima.

De este modo si unimos, las propuestas anteriores, obtenemos que:

Tipo de recinto: <i>Recinto con la solución óptima propuesta</i> Volumen, V (m³):							3.993,750 m³
Elemento	Acabado	S Área, (m²)	α _m Coeficiente de absorción acústica medio				α _m Absorción acústica (m²)
			500	1000	2000	α _m	
Suelo	<i>Terrazo</i>	766,65	0,01	0,02	0,02	0,02	15,33
	<i>Madera</i>	32,10	0,08	0,08	0,08	0,08	2,57
Techo	<i>Enlucido de yeso</i>	564,95	0,01	0,01	0,02	0,01	10,87
	<i>Elementos fonoabsorbentes</i>	234,26	0,76	0,86	0,96	0,86	201,46
Paramentos	<i>Enlucido de paredes</i>	176,84	0,02	0,03	0,04	0,03	5,31
	<i>Terrazo</i>	327,55	0,01	0,02	0,02	0,02	6,55
	<i>Vidrio</i>	126,11	0,05	0,04	0,03	0,04	5,04
	<i>Madera</i>	9,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,72
	<i>Cortinas Dabedán</i>	278,49	0,13	0,22	0,32	0,22	231,15
	<i>Textil (mantel)</i>	273	0,07	0,26	0,30	0,21	57,33
	<i>Elementos fonoabsorbentes</i>	18	0,76	0,86	0,96	0,86	15,48
							Σ = 551,81
Objetivos ⁽¹⁾	Tipo	Área de absorción acústica equivalente media, A _{o,m} (m²)				A _{o,m} · N	
		500	1000	2000	α _m		
Absorción aire ⁽²⁾		Coeficiente de atenuación del aire, $\overline{m}_a$ (m ⁻¹)				4 · $\overline{m}_a$ · V	
		500	1000	2000	α _m		
		0,003	0,005	0,01	0,006	95,85	
A, (m²) Absorción acústica del recinto resultante		$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{o,m,j} + 4 \cdot \overline{m}_a \cdot V$					647,66
T, (s) Tiempo de reverberación resultante		$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$					0,98
Absorción acústica resultante de la zona común							Absorción acústica exigida
A (m²) =							≥ = 0,2·V
Tiempo de reverberación resultante							Tiempo de reverberación exigido
T (s) =							≤

Tabla 3-10 Ficha de cálculo teórico del recinto con la propuesta óptima.

Conviene indicar que el coste asociado a la reforma resultaría el menor de los derivados en comparación con elementos como celulosa proyectada o tableros perforados. Por otro lado, nuestra propuesta queda definida para recintos sin ocupación y, es debido a la ocupación, que nuestro Tiempo de reverberación se vea reducido tanto por la presencia humana como por la vestimenta que presentan, reduciéndose de manera notable el Tiempo de reverberación y adecuándose en mayor medida a

nuestros objetivos. Otro factor aplicable, en pos de alcanzar un menor valor de Tiempo de reverberación, sería el de abrir las ventanas (siempre que la climatología lo permita), lo cual induciría un impacto positivo en nuestro recinto comedor de alumnos de la ENM y al contar la propia ENM con un bajo nivel de actividad exterior durante estas horas no supondría un perjuicio a efectos de ruidos originados en el exterior, además de aconsejar el cerrar cortinas para aumentar la eficiencia en aspectos de absorción.

Por tanto, el objetivo inicial propuesto puede darse por alcanzado tras reducirse drásticamente el Tiempo de reverberación, pese a que no se consiga que este sea menor o igual a 0,9 s (exigido por el DB-HR para nuevos recintos), pero, como ya se ha comentado, alcanzar este valor no es necesario para obtener un elevado confort acústico.

Recaltar que la variación que se produciría en el Tiempo de reverberación implicaría una reducción en el nivel de presión sonora en el recinto, respecto a una situación de uso, que puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$\Delta L \cong 10 \log \frac{Tr_{Inicial}}{Tr_{Final}} \text{ dB [2]}$$

Por lo que si introducimos los valores calculados con anterioridad:

$$Tr_{Inicial} = 4,69 \text{ s Y } Tr_{Final} = 0,98 \text{ s; obtenemos que un valor de } \Delta L \cong 6,77 \text{ dB.}$$

Lo cual supone una reducción del nivel de la cantidad de energía acústica existente actualmente hasta alcanzar el valor cercano a una quinta parte. Tal y como se aprecia en la siguiente tabla:

Nº focos sonoros idénticos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nivel resultante en dB	L	L+3	L+5	L+6	L+7	L+8	L+8,5	L+9	L+9,5	L+10

Tabla 3-11 Correspondencia del número de focos emisores con su influencia en el Nivel sonoro resultante. [2]

Puede observarse, que el resultado obtenido puede equipararse a reducir el personal presente en el comedor de alumnos, durante los intervalos destinados a su uso, a una cuarta parte de lo que actualmente presenta, obteniendo, por tanto, una gran reducción de la molestia actual e incrementando, por tanto, el confort acústico, objetivo buscado.

4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

4.1 Conclusiones

El confort acústico, como se ha abordado en el presente trabajo, es un problema común actualmente, el cual requiere de concienciación y de su diagnóstico para un correcto funcionamiento de recintos de usos tales como comedor. Pues no solo afecta incomodando al individuo, sino que, además, puede conllevar un serio perjuicio para la salud y el rendimiento.

Debido a esta problemática se procedió a analizar los diferentes fenómenos físicos asociados, así como los factores determinantes, los cuales han permitido una mayor comprensión del estudio realizado, en vista a obtener unos mejores resultados.

De cara al acondicionamiento del comedor de alumnos, en pos de alcanzar una mejora acústica, se procedió a realizar un estudio fiable, tomando especial preocupación, tal y como la normativa exige, en cumplir con las prescripciones que en cuanto a Tiempo de reverberación (T_r) se refiere.

Conviene indicar que a partir de este importantísimo parámetro podemos obtener otros de gran importancia, los cuales nos terminarán determinando el nivel de confort acústico presente en el recinto de estudio, como es el caso de la Inteligibilidad de la palabra.

Pese a no encontrarse el comedor de alumnos de la ENM ante la necesidad de cumplir con la exigencia descrita por el DB-HR, se ha pretendido que el nivel referido por dicha normativa (0,9 s) sirva de referencia para nuestro estudio y así poder ofrecer de una manera más visible el problema presente en el actual recinto.

De este modo, tanto con el procedimiento predictivo establecido por el DB-HR para su cálculo (2,49 s), como con los ensayos “in situ” realizados en el comedor (1,74 s), se deja patente la necesidad de actuar sobre este recinto, por encontrarnos con un recinto mal acondicionado acústicamente.

Además, se realizó una comparativa entre los diferentes elementos fonoabsorbentes que podían ayudar en la solución de la problemática identificada en nuestro comedor de alumnos, atendiendo principalmente a la viabilidad de estas y derivando, finalmente, en una propuesta donde el aspecto estético y técnico quedaran en consonancia.

Esta propuesta óptima solventó de manera significativa nuestro elevado Tiempo de reverberación, reduciéndolo hasta los 0,98 s. Con esta medida se conseguiría reducir la energía acústica existente en el recinto a algo más de la cuarta parte (pues el nivel de presión sonora disminuiría en 6,77 dB). Ello sería equivalente, para expresarlo de modo didáctico, a conseguir niveles de presión sonora con el recinto completo, semejantes, a los que se obtendrían cercanos al del 20% de la ocupación.

Para concluir nuestro trabajo, se han introducido unos valores presupuestarios. Estos presupuestos orientativos resultan superiores a lo esperado. Esto se debe en gran parte a la enorme superficie a acondicionar sobre nuestro recinto comedor de alumnos, el cual requiere de una evidente reforma por contar con elementos de carácter poco absorbente en materia de acústica.

4.2 Líneas futuras

Como posibles líneas futuras se recomienda continuar con el estudio y la evaluación de las condiciones acústicas de otros recintos de la ENM, que, dada su naturaleza y el uso al que están destinados, debieran poseer un acondicionamiento determinado. Así, se aconseja analizar el pabellón del gimnasio GM Barrutia y el Salón de actos de la ENM.

Además de estos estudios para realizar un acondicionamiento acústico adecuado, se valora la posibilidad de realizar un estudio acerca del aislamiento existente en algunas aulas de la ENM; siendo las principales afectadas aquellas del edificio Isaac Peral donde habitualmente se desarrollan los exámenes; situación, en determinados casos, frustrante el bajo aislamiento presentado.

Por último, sería de gran interés realizar un estudio, y posterior ejecución, para una determinada aula de la ENM, la cual adquiriera el suficiente aislamiento y correcto acondicionamiento para la realización de exámenes de comprensión oral de la asignatura de inglés. Pues resulta fuente de muchas preocupaciones por parte del alumnado, pudiendo incluso encontrarse un correcto sistema de altavoces en concordancia con el objetivo de la prueba.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Carrión Isbert, Diseño acústico de espacios arquitectónicos, Barcelona: UPC, 1998.
- [2] F. J. Rodríguez Rodríguez, J. de la Puente Crespo y C. Díaz Sanchidrián, Guía acústica de la construcción, Madrid: Dossat 2000, 2008.
- [3] A. Giani, Acústica arquitectónica, Buenos Aires: Nobuko S.A., 2013.
- [4] García-BBM, SL, «Asesoramiento acústico en el proyecto de rehabilitación del teatro cine Fraga de Vigo,» Vigo, 2008.
- [5] C. Díaz Sanchidrián, Apuntes de acústica en la edificación y el urbanismo (V), Madrid: Instituto Juan de Herrera, 2002.
- [6] G. c. a. N. I. 11654, «www.ecophon.com,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.ecophon.com/es/soluciones-acusticas/Banco-de-conocimientos-acustica/Acustica-basica/Absorcion-acustica/Clases-de-absorcion-acustica/>. [Último acceso: 03 Marzo 2018].
- [7] C. d. a. m. d. 1, «www.produccioneselotano.com,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.produccioneselotano.com/coeficiente-de-absorcion-acustica/>. [Último acceso: 27 Febrero 2018].
- [8] M. d. Fomento, «Documento Básico HR - Protección frente al ruido,» 2016.
- [9] flickr, «www.flickr.com,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.flickr.com/photos/elentir/14716842642>. [Último acceso: 26 Febrero 2018].
- [10] I. E. T. d. c. d. l. c. c. l. c. d. C. y. AICIA, «Catálogo de elementos constructivos del CTE,» 2010.
- [11] H. Arau, ABC de la Acústica Arquitectónica, Barcelona: ceac, 1999.
- [12] AENOR, «Medición de parámetros acústicos en recintos. UNE EN ISO 3382-2,» 2008.
- [13] «www.acusticontrol.net,» [En línea]. Available: <http://acusticontrol.net/portfolio-item/sonometro-bruel-kjaer-2260-investigador/>. [Último acceso: 17 Marzo 2018].
- [14] Decustik, «<http://www.decustik.com>,» [En línea]. Available: <http://www.decustik.com>.

[Último acceso: 15 Marzo 2018].

- [15] Design, Scandinavian S.L., «Paneles Gustafs,» Madrid, 2017.
- [16] ISINAC Acoustic World SL, Catálogo de productos, «www.isinac.com,» [En línea]. Available: <https://isinac.com/blog/portfolio/tio-gilito-pontevedra/>. [Último acceso: 13 Marzo 2018].
- [17] Sonaspray, «www.sonaspray.com,» [En línea]. Available: <https://twitter.com/hashtag/sonaspray>. [Último acceso: 13 Marzo 2018].
- [18] L. s. a. y. t. definitiva, «www.stier.com,» [En línea]. Available: <http://es.stier-acustica.com/Ficheiros.ashx?i=4022>. [Último acceso: 13 Marzo 2018].
- [19] Mekanocauchó, «www.mekanocauchó.com,» [En línea]. Available: <https://www.mekanocauchó.com/es/productos/amortiguador-de-vibraciones/>. [Último acceso: 14 Marzo 2018].
- [20] E. s. cortina, «www.douglas-textiles.ch,» 2014. [En línea]. Available: http://www.douglas-textiles.ch/fileadmin/filessharing/documents/ACOUSTICS_SP_1/akustik-textil-hr-streamer-pro-e.pdf. [Último acceso: 15 Marzo 2018].
- [21] J. A. M. B. B. M. R. del Rey, «Absorción acústica de cortinas textiles en función del vuelo,» *Materiales de construcción*, vol. 63, nº 312, p. 580, 2013.
- [22] M. s. a. d. salas, «www.ingenierosacusticos.com,» [En línea]. Available: <http://www.ingenierosacusticos.com/ingenieros-acusticos-manual-sobre-acustica-de-salas.pdf>. [Último acceso: 13 Marzo 2018].
- [23] ISINAC Acoustic World SL, «Presupuesto de acondicionamiento acústico,» Pontevedra, 2018.
- [24] J. Cuní, M. Miranda y A. Pérez, «Dossier de Productos,» *Tectónica*, nº 37, p. 116, 2012.

ANEXO I: GLOSARIO

Acondicionamiento acústico: Adopción de medidas encaminadas a adaptar las características acústicas de los locales a los usos para los cuales están destinados (teatros, conservatorios, salas de conferencias, aulas, etc.).

Aislamiento acústico: Aplicación de medidas encaminadas tanto a la disminución de la energía acústica transmitida entre locales como a la obtención de unos niveles de ruido de fondo adecuados para el correcto desenvolvimiento de las actividades en los diferentes recintos en función de su uso (oficinas, teatros, salas de conferencias, aulas, etc.).

Aumento del nivel sonoro en un recinto cerrado: En el interior de un recinto cerrado, el nivel sonoro total es la suma del sonido procedente directamente de la fuente acústica existente y el sonido procedente de las reflexiones en los cerramientos del local. Por ello, el nivel de ruido causado por un foco sonoro en el exterior. En este sentido, a causa de la reflexión en los tabiques y en los forjados, el nivel de presión acústica en un recinto cerrado se puede llegar a incrementar hasta un 10% respecto al emitido por un foco sonoro.

Bandas de octava y de tercio de octava: Una octava es el intervalo de frecuencias comprendido entre una frecuencia determinada y otra igual al doble de la anterior. Un tercio de octava es el intervalo de frecuencias comprendido entre una frecuencia determinada f_1 y una frecuencia f_2 relacionadas por la expresión $\frac{f_2}{f_1} = 2$.

Las frecuencias centrales de las bandas de octava normalizadas son 31, 62, 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000, 8.000 y 16.000 Hz, aunque en edificación los estudios suelen abarcar el intervalo comprendido entre 125 y 4.000 Hz.

Coeficiente de absorción acústica: Coeficiente adimensional empleado para evaluar las propiedades de absorción de un material y que representa la relación entre la energía absorbida (E_a) y la energía incidente (E_i) por unidad de superficie.

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

Sus valores se encuentran comprendidos entre 0 y 1, lo cual representa muy poca absorción o una gran absorción respectivamente. Además, para un mismo material, el coeficiente de absorción acústica varía en función de la frecuencia del sonido incidente. Los materiales de obra típicos poseen valores de absorción bajos, y los materiales porosos valores de absorción elevados que se incrementan con la frecuencia.

Curvas de ponderación A: Dado que el oído humano no percibe igualmente todas las frecuencias, sino que posee diferentes grados de sensibilidad dependiendo de ellas, se emplea la escala de ponderación A, que corrige los niveles de presión sonora en función de la frecuencia para adaptarse

a este condicionante. De este modo, los resultados obtenidos se expresan en dBA. La siguiente tabla refleja las ponderaciones para las distintas frecuencias:

Fr. (Hz)	Pond. A	Fr. (Hz)	Pond. A
6	-56,7	630	-1,9
20	-50,5	800	-0,8
25	-44,7	1000	0
31,5	-39,4	1250	0,6
40	-34,6	1600	1
50	-30,2	2000	1,2
63	-26,2	2500	1,3
80	-22,5	3150	1,2
100	-19,1	4000	1
125	-16,1	5000	0,5
160	-13,4	6300	-0,1
200	-10,9	8000	-1,1
250	-8,6	10000	-2,5
315	-6,6	12500	-4,3
400	-4,8	16000	-6,6
500	-3,2	20000	-9,3

Tabla A1-1 Ponderaciones para distintas frecuencias.

Frecuencias centrales (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	Lp global
Lp para cada banda de octava (dB)	46,2	56,3	64,3	67,0	65,0	64,3	58,0	71,6 dB
Ponderación (dB)	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1,0	
Lp para cada banda de octava (dBA)	20,0	40,2	55,7	63,8	65,0	65,5	59,0	70,1 dBA

Tabla A1-2 Ejemplo de aplicación de ponderaciones para distintas frecuencias.

Decibelio: Es la unidad de la escala de medida empleada para la cuantificación del sonido, cuya magnitud es el nivel y que se establece a partir de una expresión matemática basada en la noción del logaritmo decimal, que relaciona la magnitud que se pretende cuantificar (presión, potencia o intensidad acústica) con una referencia correspondiente al límite de sensibilidad humana respecto a tal magnitud:

$$L(dB) = 10 \lg \frac{M}{M_0}; \text{ donde } \left\{ \begin{array}{l} L = \text{Nivel de la magnitud cuantificada, en dB} \\ M = \text{Magnitud que se desea cuantificar (en sus unidades naturales)} \\ M_0 = \text{Valor de referencia de la magnitud (en sus unidades naturales)} \end{array} \right.$$

Decibelio A: Resultado de emplear la escala de ponderación A en una medida acústica, la cual atenúa de modo importante de los sonidos de baja frecuencia, no modifica la medida del sonido alrededor de los 1000 Hz y aumenta algo la medición de los sonidos comprendidos entre 2000 y 4000 Hz. Así se caracteriza la reacción humana frente a los ruidos complejos y se imita la sensación de molestia que éstos originan. Los decibelios se denominan entonces decibelios A.

Fr. (Hz)	Pond. A	Fr.(Hz)	Pond. A
6	-56.7	630	-1.9
20	-50.5	800	-0.8
25	-44.7	1000	0
31.5	-39.4	1250	+0.6
40	-34.6	1600	+1
50	-30.2	2000	+1.2
63	-26.2	2500	+1.3
80	-22.5	3150	+1.2
100	-19.1	4000	+1
125	-16.1	5000	+0.5
160	-13.4	6300	-0.1
200	-10.9	8000	-1.1
250	-8.6	10000	-2.5
315	-6.6	12500	-4.3
400	-4.8	16000	-6.6
500	-3.2	20000	-9.3

Tabla A1-3 Correspondencia de ponderación A.

Espectro frecuencial de un sonido: Representación de la distribución de energía acústica que posee un sonido en las diferentes frecuencias que lo constituyen. Normalmente se expresa mediante niveles de presión o de potencia en bandas de tercio de octava o de octava.

Frecuencia (f): Es el número de pulsaciones que una onda acústica senoidal experimenta en un segundo. Su unidad es el hercio (Hz).

Intensidad sonora: Energía que fluye en la unidad de tiempo a través de una superficie unidad situada perpendicularmente a la dirección de propagación de las ondas sonoras; es decir, potencia acústica radiada por unidad de superficie. Depende de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar donde se encuentre la fuente (en campo abierto, sin obstáculos, o en un recinto cerrado). La intensidad sonora se expresa en W/m^2 .

Materiales absorbentes porosos: Poseen la capacidad de disminuir la cantidad de energía reflejada y apenas se oponen a la transmisión del sonido incidente (no poseen capacidad aislante). Entre tales materiales se encuentran lanas minerales, fibras, moquetas, cortinas, etc., que, los cuales, debido a su estructura de esqueleto sólido recorrido por poros comunicados entre sí y con el exterior, disipan la energía acústica incidente en forma de energía calorífica.

Nivel de potencia acústica (L_w): Se define mediante la expresión:

$$L_w (dB) = 10 \lg \frac{W}{W_0}; \text{ donde } \left\{ \begin{array}{l} L_w = \text{Nivel de potencia sonora (potencia sonora expresada en dB)} \\ W = \text{Potencia acústica que se desea cuantificar} \\ W_0 = \text{Potencia de referencia, que corresponde al límite de sensibilidad humana a 1000 Hz (10}^{-12} \text{ w)} \end{array} \right.$$

Nivel de presión sonora o presión acústica (L_p): Se define según la siguiente expresión:

$$L_p (dB) = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P}{P_0}; \text{ donde } \left\{ \begin{array}{l} L_p = \text{Nivel de presión acústica, expresado en dB} \\ P = \text{Presión acústica que se desea cuantificar} \\ P_0 = \text{Presión de referencia, que corresponde al límite de sensibilidad humana a 1000 Hz (2 } 10^{-5} \text{ N/m}^2) \end{array} \right.$$

Onda sonora en el aire: Es la propagación de una perturbación caracterizada por la sucesión periódica en el espacio y en el tiempo de compresiones y expansiones de volúmenes de aire.

Plenum: Cámara de aire. Espacio o distancia existente entre un elemento absorbente y la superficie sobre la que actúa.

Potencia acústica: Cantidad de energía sonora emitida (o radiada) por una determinada fuente sonora. Su valor no depende del punto del espacio donde se mida ni de las condiciones del recinto en el que se localiza el foco sonoro, y es intrínseca o característica de la fuente sonora. Se expresa en vatios (w).

Presión acústica: Representa el incremento de presión respecto a la presión atmosférica debido a la presencia de onda acústica; es dependiente de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar en donde ésta se encuentre (en campo abierto, sin obstáculos o en un recinto cerrado) y se expresa en pascales (Pa) o N/m^2 .

Reducción del nivel sonoro de un recinto mediante Tiempo de reverberación: Cuando instalamos materiales absorbentes en un local reducimos la cantidad de energía acústica reflejada y, por tanto, el nivel de ruido total. En este sentido, es posible calcular la reducción en el nivel sonoro promedio en un recinto (ΔL) debido a un tratamiento absorbente otorgando a éste:

$$\Delta L \cong 10 \log \frac{A_{final}}{A_{inicial}} \text{ dB}$$

Donde:

- A_{final} es el área de absorción del local una vez instalados elementos absorbentes (m^2).
- $A_{inicial}$ es el área de absorción del local sin el acondicionamiento acústico (m^2).

Resonadores: Materiales de acondicionamiento acústico empleados para absorber selectivamente determinadas frecuencias del sonido (principalmente las bajas frecuencias) mediante un proceso de absorción de distinta naturaleza al que se lleva a cabo en los materiales porosos.

Resonador de membrana: Placa de material no poroso y flexible colocada a una distancia de separación de un tabique o forjado que vibra al incidir sobre ella la onda acústica, que es transformada en energía dinámica, pérdidas internas debidas a la deformación y pérdidas por frotación en los puntos de sujeción. De este modo se absorben de manera selectiva aquellas frecuencias del orden de la frecuencia a la que vibra de forma natural cuando recibe el impacto de la onda acústica.

Resonador múltiple de cavidad o Helmholtz: Panel con perforaciones que permite una absorción frecuencial selectiva dependiendo de factores tales como su espesor, la profundidad de la cámara posterior y el porcentaje de superficie perforada. La capacidad absorbente deriva de la vibración de las partículas de aire de las perforaciones cuando la onda acústica incide sobre él, de modo que el rozamiento de estas partículas con las paredes genera calor, lo que extrae energía del entorno.

Reverberación: Es el fenómeno de persistencia del sonido en el interior de un recinto cuando la fuente sonora ya dejó de emitir.

Ruido aéreo: Ruido inducido por la perturbación generada en el volumen de aire que rodea a una determinada fuente sonora. Cuando las ondas acústicas originadas inciden sobre un sistema constructivo separador de dos espacios o recintos, éste responderá a esta fuerza de excitación entrando en vibración forzada y convirtiéndose en un nuevo foco sonoro de ruidos aéreos que además modificará el estado de reposo de la capa de aire inmediatamente próxima en el recinto contiguo.

Ruido de impacto: Los golpes que se producen en la losa de un forjado provocan su vibración y lo convierten en un foco sonoro. Por otra parte, debido a la alta rigidez de la mayoría de elementos constructivos, la excitación inicial inducida por el impacto se transmite rápidamente y con elevada intensidad por la estructura de obra (tabiques y forjados). De este modo, las vibraciones de los paramentos ponen en movimiento las partículas de aire contiguas a ellos, lo cual induce la aparición de

ruidos aéreos no sólo en el local inmediatamente inferior al forjado excitado por el impacto, sino también a otras viviendas de la edificación.

Por ello, la mejor de las opciones para reducir el ruido de impacto recibido en un local receptor consiste en la supresión de la unión rígida entre la losa y el forjado (y también entre la losa y los tabiques y pilares) mediante el empleo de materiales elásticos; es decir, mediante la aplicación de suelos flotantes que permitan disminuir la cantidad de energía vibratoria que generada en la losa se transmite al resto de la estructura. De cara al cumplimiento de las exigencias del Código Técnico de la Edificación respecto al nivel de ruido de impacto, se considera necesario la aplicación de suelos flotantes.

Tiempo de reverberación: Tiempo de reverberación (T_r) a una frecuencia determinada se puede definir como el tiempo (en segundos) que transcurre desde que el foco sonoro deja de emitir hasta el momento en que el nivel de presión sonora decrece en 60 dB con respecto a su valor inicial. Se trata de un valor físico utilizado para describir el comportamiento acústico de los locales y comparar y prever su respuesta a los sonidos generados en ellos.

Aunque el Tiempo de reverberación varía para las distintas frecuencias del sonido, a efectos de requisitos del Código Técnico de la Edificación se establece mediante la media de los valores correspondientes a las bandas de 500, 1000 y 2000 Hz.

El Tiempo de reverberación puede estimarse con la siguiente expresión:

$$T_r = \frac{0,161 \cdot V}{A}$$

Donde V representa el volumen del local (m^3) y A el área de absorción equivalente del mismo (m^2). A su vez, respecto al área de absorción equivalente, el CTE contempla tres sumandos:

$$A = \sum S_i \cdot \alpha_i + \sum A_{0j} + 4mV$$

S_i = Superficie del elemento i del local (normalmente suelo, techo, paredes, ventanas y puertas), en m^2 .

α_i = Coeficientes de absorción del elemento i .

A_{0j} = Área de absorción equivalente del objeto j , en m^2 .

El sumando $4mV$ representa la absorción acústica inducida por el aire del local, y sólo se emplea para los grandes recintos y para frecuencias ≥ 2.000 Hz.

Mediante el empleo de materiales absorbentes se consigue reducir la energía reflejada y así disminuir el Tiempo de reverberación en un recinto.

ANEXO II: EJEMPLOS DE CATÁLOGOS COMERCIALES



ISINAC
ISINAC ACOUSTIC WORLD

EUSKO JAURLARITZA

GOBIERNO VASCO

INGURUMENA, LURRALDE PLANGINTZA
ETA ETXEBIZITZA SAILA
Etxebizitza eta Arkitektura Zuzendaritza
Eraikuntzaren Kalitate Kontrolerako Laborategia

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE,
PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y VIVIENDA
Dirección de Vivienda y Arquitectura
Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación

Medidas en laboratorio del Coeficiente de Absorción Acústica según UNE-EN ISO 354:2004

Solicitante: ISINAC Absorción Acústica.

Fecha de Ensayo: 14/06/2017

Muestra: Configuración de paneles *ISINAC FT PANEL*, colocados sobre el suelo de la cámara de ensayo, cubriendo una superficie de 11,53 m². Montaje tipo A. Ver detalles en informe.

Volumen sala reverberante: 209,6 m³

Superficie sala reverberante: 211,8 m²

$S_{muestra}$: 11,53 m²

t_1 : 21,0 °C

HR_1 : 65 %

P_1 : 955 mbar

t_2 : 21,1 °C

HR_2 : 68 %

P_2 : 955 mbar

1. Sala Vacía.

2. Muestra en la Sala.

Panel ISINAC FT PANEL:
espuma de resina de melanina de
celda abierta, de 4 cm de espesor

f (Hz)	T ₁	T ₂	α_s	α_p
100	8,58	7,55	0,05	0,10
125	8,95	6,60	0,12	
160	8,82	6,08	0,15	
200	9,58	5,38	0,24	0,40
250	9,69	4,18	0,40	
315	8,98	3,45	0,52	
400	8,70	3,02	0,63	0,75
500	8,94	2,68	0,76	
630	8,62	2,56	0,80	
800	8,25	2,47	0,83	0,85
1000	7,73	2,36	0,86	
1250	7,04	2,31	0,85	
1600	6,38	2,14	0,91	0,95
2000	5,54	1,97	0,96	
2500	4,75	1,88	0,94	
3150	3,91	1,75	0,93	0,95
4000	3,18	1,59	0,93	
5000	2,45	1,39	0,93	

Evaluación según UNE-EN ISO 11654:1998

Coefficiente de absorción sonora ponderado: $\alpha_w = 0,70$ (H)

Evaluación basada en medidas de laboratorio mediante método de ingeniería.

Nº de resultado: B2017-30-M451

Área de Acústica gestionada por

tecnalia

Anexo a Informe Nº B2017-LACUS-IN-30 I

Página 1 de 1

EUSKO JAURLARITZA

GOBIERNO VASCO

INGURUMENA, LURRALDE PLANGINTZA
ETA ETXEBIZITZA SAILA
Etxebizitza eta Arkitektura Zuzendaritza
Eraikuntzaren Kalitate Kontrolerako Laborategia

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE,
PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y VIVIENDA
Dirección de Vivienda y Arquitectura
Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación

Medidas en laboratorio del Coeficiente de Absorción Acústica según UNE-EN ISO 354:2004

Solicitante: ISINAC Absorción Acústica.

Fecha de Ensayo: 16/06/2017

Muestra: Configuración de paneles *ISINAC FT PANEL* + Textil *ISINAC MUSLI* adherido, colocados sobre el suelo de la cámara de ensayo, cubriendo una superficie de 11,53 m². Montaje tipo A. Ver detalles en informe.

Volumen sala reverberante: 209,6 m³

Superficie sala reverberante: 211,8 m²

$S_{muestra}$: 11,53 m²

t_1 : 21,5 °C

HR_1 : 74 %

P_1 : 964 mbar

t_2 : 21,6 °C

HR_2 : 74 %

P_2 : 964 mbar

1. Sala Vacía.

2. Muestra en la Sala.

Panel *ISINAC FT PANEL* (espuma de resina de melanina de celda abierta, de 4 cm de espesor) + Textil adherido *ISINAC MUSLI* (100% PES, de 150 gr/m²)

f (Hz)	T ₁	T ₂	α_s	α_p
100	8,50	5,91	0,15	0,20
125	8,84	5,33	0,22	
160	9,12	5,08	0,25	
200	9,71	4,40	0,36	
250	9,74	3,86	0,46	0,40
315	9,03	3,79	0,45	
400	8,73	3,40	0,52	
500	8,98	3,18	0,59	
630	8,83	2,64	0,78	0,65
800	8,04	2,46	0,82	
1000	7,64	2,44	0,81	
1250	6,84	2,67	0,67	
1600	6,22	2,87	0,55	0,50
2000	5,46	2,84	0,49	
2500	4,70	2,79	0,43	
3150	3,85	2,61	0,36	
4000	3,20	2,32	0,35	0,35
5000	2,48	1,92	0,34	

Frecs. (Hz)	Coeficiente de Absorción Sonora, α_s
100	0,15
125	0,22
160	0,25
200	0,36
250	0,46
315	0,45
400	0,52
500	0,59
630	0,78
800	0,81
1000	0,81
1250	0,67
1600	0,55
2000	0,49
2500	0,43
3150	0,36
4000	0,35
5000	0,34

Evaluación según UNE-EN ISO 11654:1998

Coeficiente de absorción sonora ponderado: α_{wv} = 0,50 (M)

Evaluación basada en medidas de laboratorio mediante método de ingeniería.

Nº de resultado: B2017-30-M453

Área de Acústica gestionada por

Anexo a Informe Nº B2017-LACUS-IN-30 III

Página 1 de 1

EUSKO JAURLARITZA INGURUMENA, LURRALDE PLANGINTZA ETA ETXEBIZITZA SAILA Etxebizitza eta Arkitektura Zuzendaritza Eraikuntzaren Kalitate Kontrolerako Laborategia		GOBIERNO VASCO DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE, PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y VIVIENDA Dirección de Vivienda y Arquitectura Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación
---	---	---

Medidas en laboratorio del Coeficiente de Absorción Acústica según UNE-EN ISO 354:2004

Solicitante: ISINAC Absorción Acústica. Fecha de Ensayo: 14/06/2017

Muestra: Configuración de paneles *ISINAC FT PANEL* + Funda textil *ISINAC TEX COOL*, colocados sobre el suelo de la cámara de ensayo, cubriendo una superficie de 11,53 m². Montaje tipo A. Ver detalles en informe.

Volumen sala reverberante: 209,6 m³
Superficie sala reverberante: 211,8 m²

S_{muestra}: 11,53 m²

t₁: 21,0 °C

HR₁: 65 %

P₁: 955 mbar

t₂: 21,2 °C

HR₂: 72 %

P₂: 954 mbar

1. Sala Vacía.
2. Muestra en la Sala.

Panel *ISINAC FT PANEL* (espuma de resina de melanina de celda abierta, de 4 cm de espesor) + Funda textil *ISINAC TEX COOL* (100% PES, de 200 gr/m²)

f (Hz)	T ₁	T ₂	α _s	α _p
100	8,58	7,37	0,06	0,10
125	8,95	6,56	0,12	
160	8,82	5,93	0,16	
200	9,58	5,32	0,25	
250	9,69	4,32	0,38	0,40
315	8,98	3,54	0,50	
400	8,70	2,98	0,65	
500	8,94	2,72	0,75	
630	8,62	2,49	0,83	0,75
800	8,25	2,39	0,87	
1000	7,73	2,33	0,87	
1250	7,04	2,33	0,89	
1600	6,38	2,14	0,91	0,90
2000	5,54	1,95	0,97	
2500	4,75	1,88	0,94	
3150	3,91	1,75	0,93	
4000	3,18	1,59	0,94	0,95
5000	2,45	1,38	0,97	

Evaluación según UNE-EN ISO 11654:1998

Coefficiente de absorción sonora ponderado: α_w = 0,70 (H)

Evaluación basada en medidas de laboratorio mediante método de ingeniería.

Nº de resultado: B2017-30-M452

Área de Acústica gestionada por

tecnalia

Anexo a Informe Nº B2017-LACUS-IN-30 II

Página 1 de 1

EUSKO JAURLARITZA

GOBIERNO VASCO

INGURUMENA, LURRALDE PLANGINTZA

ETA ETXEBIZITZA SAILA

Etxebizitza eta Arkitektura Zuzendaritza

Eraikuntzaren Kalitate Kontrolerako Laborategia

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE,

PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y VIVIENDA

Dirección de Vivienda y Arquitectura

Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación

Medición en laboratorio de la Absorción Acústica según UNE-EN ISO 354:2004

Solicitante: BERNARDO DIEGUEZ MORAN

Fecha de Ensayo: 3/11/2017

Muestra: Configuración de paneles *ISINAC 61.61.4 TIME adh.*, colocados sobre el suelo de la cámara de ensayo, cubriendo una superficie de 12,08 m². Montaje tipo A. Ver detalles en informe.

Volumen sala reverberante: 209,6 m³

Superficie sala reverberante: 211,8 m²

S_{muestra}: 12,08 m²

t₁: 17,9 °C

HR₁: 61 %

P₁: 956 mbar

t₂: 17,9 °C

HR₂: 61 %

P₂: 953 mbar

1. Sala Vacía.

2. Muestra en la Sala.

Panel *ISINAC* (espuma de resina de melanina de celda abierta - 40 mm espesor) con autoadhesivo + Funda textil *Time 300-kvadrat* (100% trevira CS - 193 gr/m²)

f (Hz)	T ₁	T ₂	α _s	α _p
100	8,73	6,90	0,09	0,15
125	8,41	6,00	0,13	
160	8,91	5,53	0,19	
200	9,88	4,51	0,34	
250	10,01	3,74	0,47	0,50
315	8,80	2,96	0,63	
400	8,66	2,45	0,82	
500	9,17	2,30	0,91	
630	9,07	2,19	0,97	0,90
800	8,64	2,06	1,04	
1000	8,07	1,99	1,06	
1250	7,26	1,94	1,06	
1600	6,54	1,83	1,10	1,00
2000	5,58	1,73	1,12	
2500	4,70	1,66	1,09	
3150	3,78	1,49	1,14	
4000	2,98	1,38	1,09	1,00
5000	2,29	1,17	1,17	

Evaluación según UNE-EN ISO 11654:1998:

Coeficiente de absorción sonora ponderado: α_w = 0,80 (H)

Evaluación basada en medidas de laboratorio mediante método de ingeniería.

Nº de resultado: B2017-39-M481

Área de Acústica gestionada por

Anexo a Informe Nº B2017-LACUS-IN-39

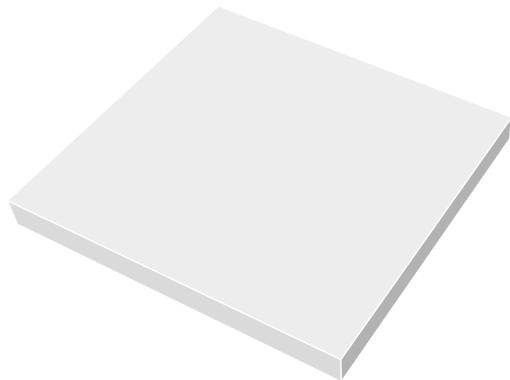
Página 1 de 1

07. FORMATOS ISINAC PLANO



CUADRADO AUTO-ADHESIVO

(Material base gris o blanco) (Base material gray or white)

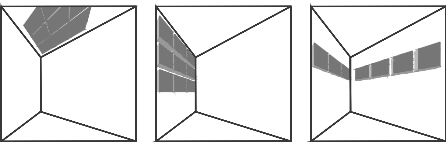


CODIFICACIONES - ENCODING

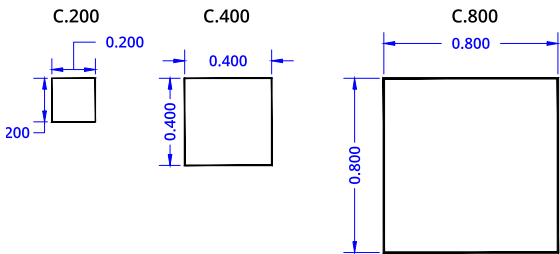
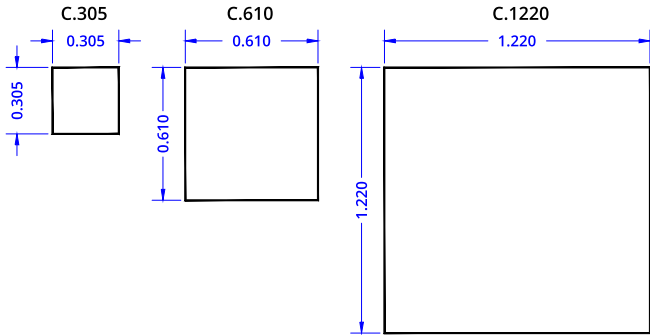
C.305.20 ADH.	C.1220.20.ADH.	C.400.20.ADH.
C.305.40 ADH.	C.1220.40.ADH.	C.400.40.ADH.
C.305.60 ADH.	C.1220.60.ADH.	C.400.60.ADH.
C.305.80 ADH.	C.1220.80.ADH.	C.400.80.ADH.
C.610.20.ADH.	C.200.20 ADH.	C.800.20.ADH.
C.610.40.ADH.	C.200.40 ADH.	C.800.40.ADH.
C.610.60.ADH.	C.200.60 ADH.	C.800.60.ADH.
C.610.80.ADH.	C.200.80 ADH.	C.800.80.ADH.

ACABADOS - FINISHED
ARTICOTEX - COOLTEX - IMAGEN - TIME
+ info en pag.67

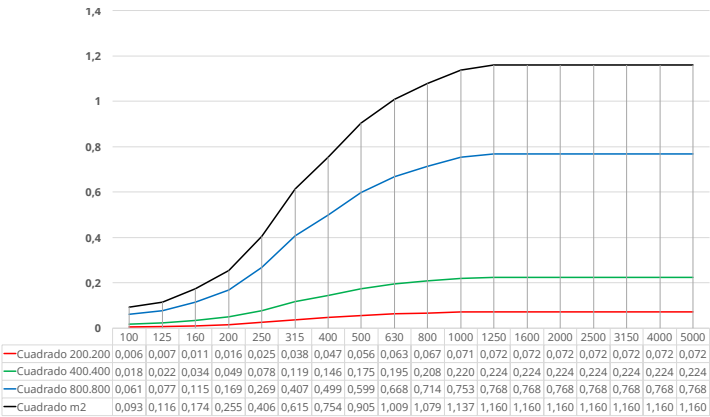
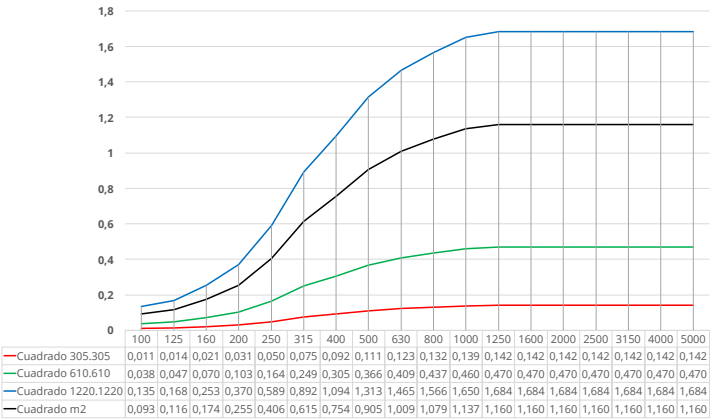
OPCIONES DE MONTAJE - INSTALLATION OPTIONS



PIEZA ISINAC CUADRADA, (Espesores 20, 40, 60, 80 mm.)
ISINAC SQUARE PIECE, (20, 40, 60, 80 mm. Thick)



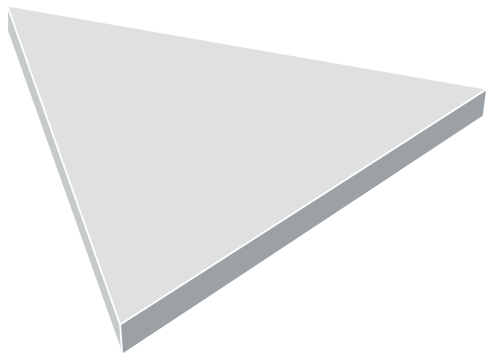
TABLAS DE ABSORCIÓN PARA 40 mm. DE ESPESOR
ABSORPTION TABLES (40 mm. Thick)



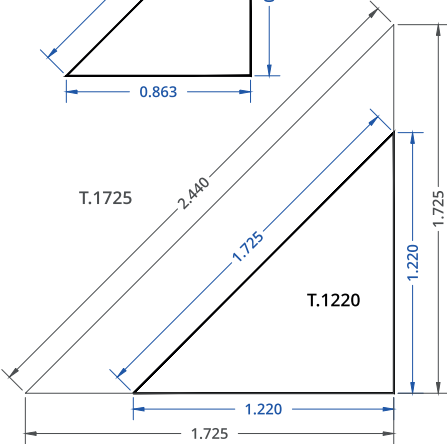
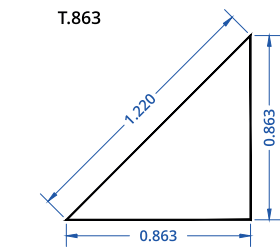
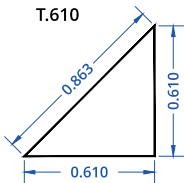
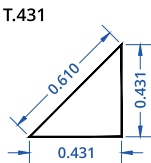
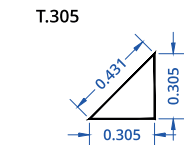


TRIÁNGULO EQUILÁTERO AUTO-ADHESIVO

(Material base gris o blanco) (Base material gray or white)



PIEZA ISINAC TRIÁNGULO EQUILÁTERO, (Espesores 40, 60, 80 mm.)
ISINAC TRIANGLE PIECE, (40, 60, 80 mm. Thick)

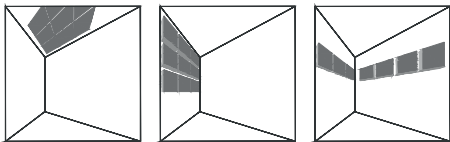


CODIFICACIONES - ENCODING

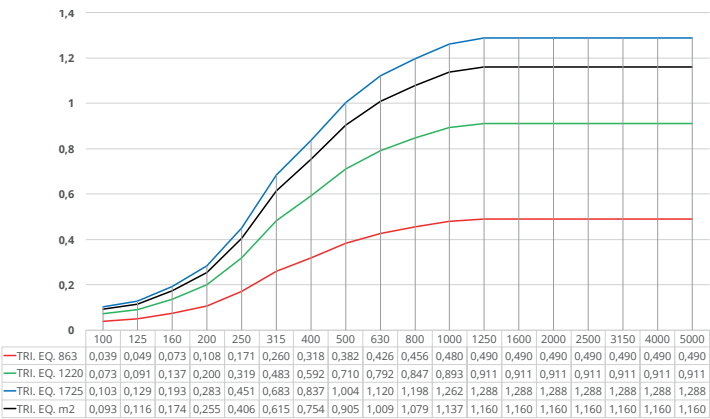
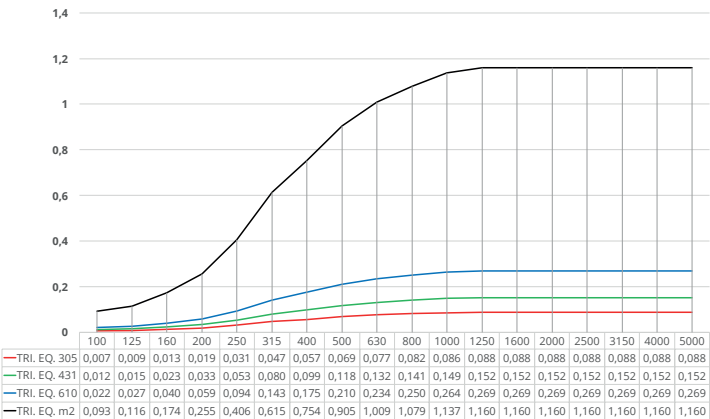
T.305.40 ADH.	T.610.40.ADH.	T.1220.40.ADH.
T.305.60 ADH.	T.610.60.ADH.	T.1220.60.ADH.
T.305.80 ADH.	T.610.80.ADH.	T.1220.80.ADH.
T.431.40.ADH.	T.863.40.ADH.	T.1725.40.ADH.
T.431.60.ADH.	T.863.60.ADH.	T.1725.60.ADH.
T.431.80.ADH.	T.863.80.ADH.	T.1725.80.ADH.

ACABADOS - FINISHED
ARTICOTEX - COOLTEX - IMAGEN - TIME
+ info en pag.67

OPCIONES DE MONTAJE - INSTALLATION OPTIONS



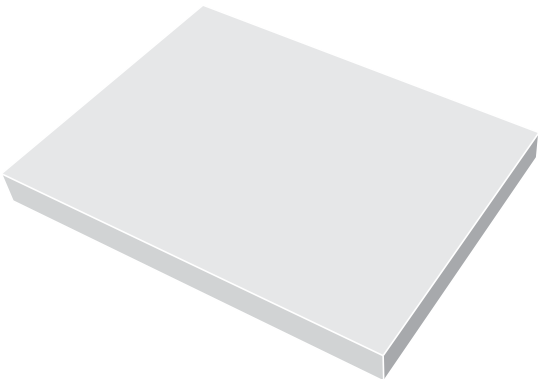
TABLAS DE ABSORCIÓN PARA 40 mm. DE ESPESOR
ABSORPTION TABLES (40 mm. Thick)



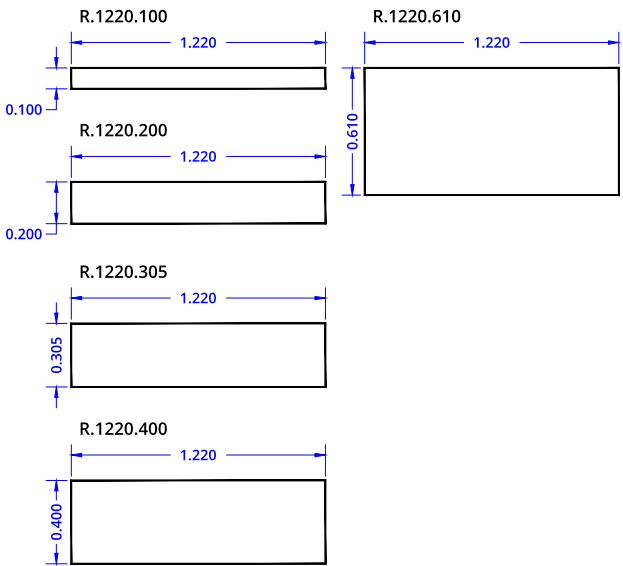


RECTÁNGULO AUTO-ADHESIVO

(Material base gris o blanco) (Base material gray or white)



PIEZA ISINAC RECTANGULAR, (Espesores 20, 40, 60, 80 mm.)
ISINAC RECTANGLE PIECE, (20, 40, 60, 80 mm. Thick)

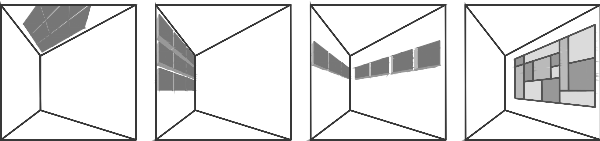


CODIFICACIONES - ENCODING

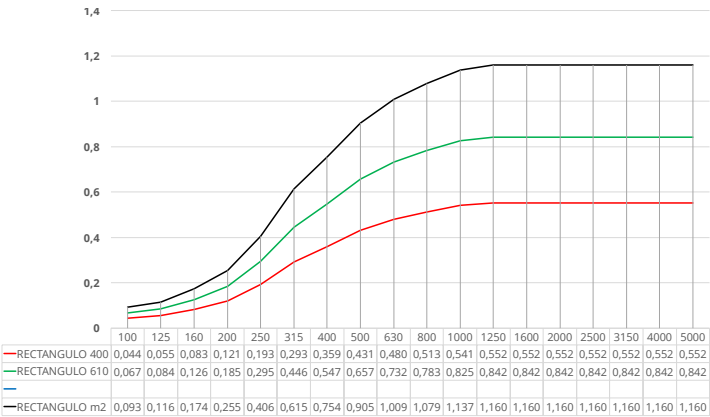
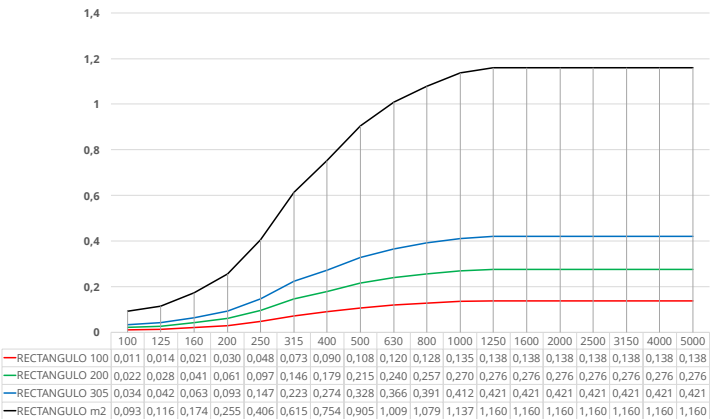
R.1220.100.20 ADH.	R.1220.305.20 ADH.	R.1220.610.20.ADH.
R.1220.100.40 ADH.	R.1220.305.40 ADH.	R.1220.610.40.ADH.
R.1220.100.60 ADH.	R.1220.305.60 ADH.	R.1220.610.60.ADH.
R.1220.100.80 ADH.	R.1220.305.80 ADH.	R.1220.610.80.ADH.
R.1220.200.20.ADH.	R.1220.400.20.ADH.	
R.1220.200.40.ADH.	R.1220.400.40.ADH.	
R.1220.200.60.ADH.	R.1220.400.60.ADH.	
R.1220.200.80.ADH.	R.1220.400.80.ADH.	

ACABADOS - FINISHED
ARTICOTEX - COOLTEX - IMAGEN - TIME
+ info en pag.67

OPCIONES DE MONTAJE - INSTALLATION OPTIONS



TABLAS DE ABSORCIÓN PARA 40 mm. DE ESPESOR
ABSORPTION TABLES (40 mm. Thick)



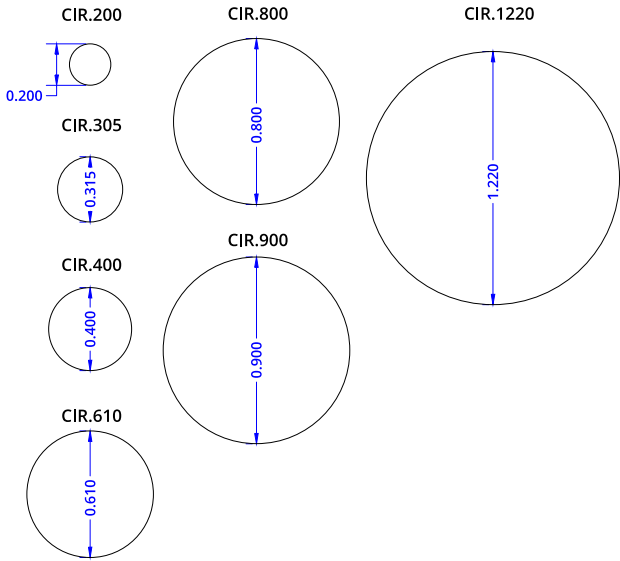


CÍRCULO AUTO-ADHESIVO

(Material base gris o blanco) (Base material gray or white)



PIEZA ISINAC CIRCULAR, (Espesores 40, 60, 80 mm.)
ISINAC CIRCLE PIECE, (40, 60, 80 mm. Thick)



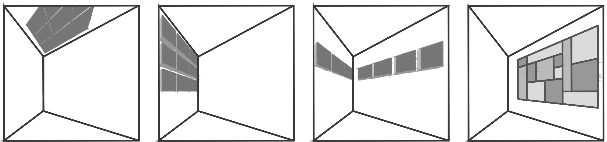
CODIFICACIONES - ENCODING

CIR.200.20 ADH.	CIR.400.20 ADH.	CIR.800.20.ADH.	CIR.1220.20.ADH.
CIR.200.40 ADH.	CIR.400.40 ADH.	CIR.800.40.ADH.	CIR.1220.40.ADH.
CIR.200.60 ADH.	CIR.400.60 ADH.	CIR.800.60.ADH.	CIR.1220.60.ADH.
CIR.200.80 ADH.	CIR.400.80 ADH.	CIR.800.80.ADH.	CIR.1220.80.ADH.

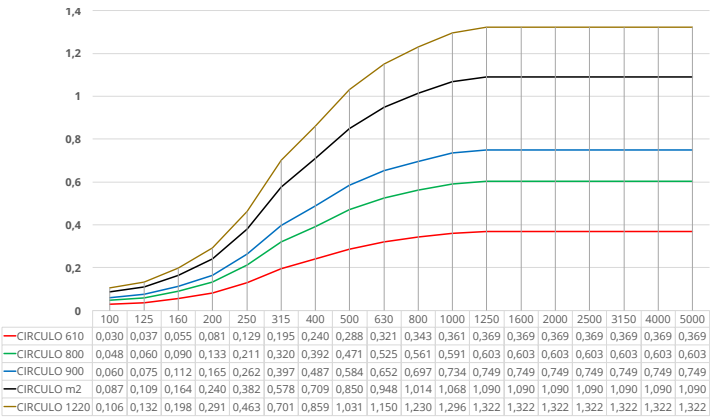
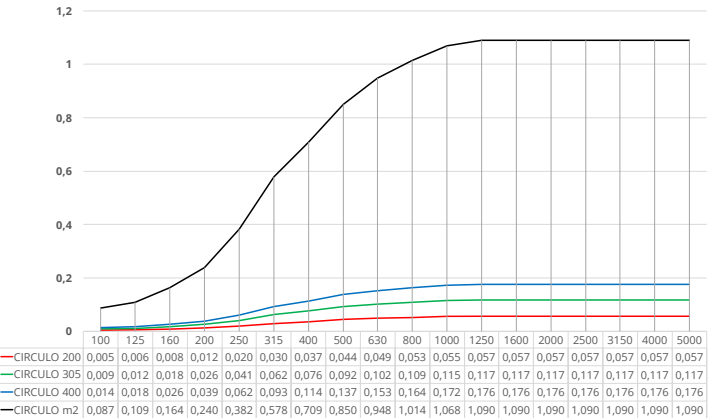
CIR.305.20.ADH.	CIR.610.20.ADH.	CIR.900.20.ADH.
CIR.305.40.ADH.	CIR.610.40.ADH.	CIR.900.40.ADH.
CIR.305.60.ADH.	CIR.610.60.ADH.	CIR.900.60.ADH.
CIR.305.80.ADH.	CIR.610.80.ADH.	CIR.900.80.ADH.

ACABADOS - FINISHED
ARTICOTEX - COOLTEX - IMAGEN - TIME
+ info en pag.67

OPCIONES DE MONTAJE - INSTALLATION OPTIONS



TABLAS DE ABSORCIÓN PARA 40 mm. DE ESPESOR
ABSORPTION TABLES (40 mm. Thick)



12. ACABADOS TIPOS

COOLTEx

CÓDIGO: COOL + Color (ejemplo: COOL+19520)



ARTICOTEx

CÓDIGO: ARTI + Color (ejemplo: ARTI+22901)



FICHA TÉCNICA:

- Composición: **100% poliéster**
- Ancho: **155-160 cm.**
- Gramaje: **200 g.**
- Resistencia a la abrasión: **102400**
- Espesor: **0,7 mm.**
- Resistencia al fuego: **con tratamiento BS EN 1021-1 cigarrillo**
- Solidez luz: **>=4 (EN ISO 105-B02)**
- Permeabilidad al vapor: **42,9 EN UNE 20344.2004 (wet/dry)**
- Otras normativas: **Oeko-Tex, 100% libre de metales pesados**
- Limpieza: **limpieza en seco o agua fría**

FICHA TÉCNICA:

- Composición: **100% poliéster**
- Ancho: **158 cm.**
- Gramaje: **175 g.**
- Resistencia a la abrasión: **100 000**
- Espesor: **0,6 mm.**
- Resistencia al fuego: **con tratamiento BS EN 1021-1 cigarrillo**
- Solidez luz: **>=4 (EN ISO 105-B02)**
- Resistencia al desgarro: **Trama 32N; Urdimbre 38N**
- Otras normativas: **Oeko-Tex, 100% libre de metales pesados**
- Limpieza: **limpieza en seco con agua fría**

TIME

CÓDIGO: TIME + Color (ejemplo: TIME+c0100)



FICHA TÉCNICA:

- Composicion:**100% Trevira CS**
 - Ancho:**140 cm.**
 - Gramaje: **470 g.**
 - Resistencia a la abrasión: **70000**
 - Espesor: **0,72 mm.**
- Resistencia al fuego: **BS 5852, fuente de ignición 5**
 - Solidez luz: **5-7 (EN ISO 105-B02)**
 - Piling: **4-5 (EN ISO 12945)**
 - Otras normativas: **Oeko-Tex, 100% libre de metales pesados**
 - Limpieza: **<60° lavado y planchado**

IMAGEN

CÓDIGO: IMAG + Color (ejemplo: IMAG+AMSTERDAM)



FICHA TÉCNICA:

- Tejidos: Disponible en tejidos **TIME** y **COOLTEX**
 - Dimensiones:
- Tamaño máximo sin marco: 122.61 cm.**

Tamaño máximo con marco: COOLTEX ancho 150 cm. | TIME ancho 300 cm.

Largo máximo: 7 m. (Por transporte)
- * Personalizado por el cliente: imagen o logotipo.

Yeso con fibra de madera tiene sentido

Hoy podemos ofrecer una amplia variedad de maderas, acabados y accesorios que proporcionan a los diseñadores oportunidades creativas en lo concerniente al aspecto y función. De los muchos requisitos para la fabricación de un panel de revestimiento, uno de los más importantes es elegir el material de base adecuado. Nuestras primeras exigencias fueron: superficie totalmente plana, estabilidad dimensional, características ignífugas y acústicas. Dichas exigencias sustituyen y mejoran eficazmente muchas opciones tradicionales basadas en compuestos de madera.

Un panel de alta densidad construido con yeso y fibras de madera, posee las propiedades necesarias para cumplir exigencias de prevención de incendios y ofrecer buenas características acústicas, brindando al mismo tiempo la versatilidad de la madera y su atractivo estético.

Los paneles con estas características son menos sensibles a los cambios de temperatura y de humedad relativa, lo cual mantiene la estabilidad dimensional del producto. Esta combinación excepcional logra en su conjunto un panel apropiado para una gran variedad de proyectos y usos.

La apreciación y valoración de los detalles es necesaria para crear una impresión global positiva.

Antes del chapado, se adhiere alrededor del tablero un canto de madera maciza que recubre el material de base, al aplicarse la chapla, ésta cubre el canto de madera dando al panel la apariencia de madera maciza. Este proceso aumenta la solidez del panel, haciéndolo más resistente y asegurando su estabilidad dimensional.

Ventajas del panel de yeso y fibras de madera

Fuego

Gracias al sólido encolado de la chapla al tablero de yeso y fibras de madera se evita que el fuego se extienda sobre la superficie del panel. Incluso en caso de haberse desarrollado un foco de fuego intenso, el núcleo ignífugo del panel evita la penetración del fuego, protegiendo así la estructura posterior y los materiales adyacentes.

Acústica

Respecto a la acústica de las salas y locales, el uso de materiales de revestimiento con altas densidades ofrece comportamientos acústicos más favorables que materiales más ligeros. El Gustafs Panel System, que utiliza panel de yeso con fibras de madera, pesa 15kg/m², es aproximadamente dos veces más pesado que la mayoría de los paneles de madera rechapada.

Estabilidad

Una característica propia de la madera y de los tableros de partículas es variar sus dimensiones según los cambios de temperatura o humedad relativa. Esto puede producir la expansión o retracción de las superficies de revestimiento. El panel de yeso y fibras de madera es muy estable y no presenta prácticamente movimientos. Comparándolo con los tableros tradicionales de partículas (MDF) la variación de medidas es prácticamente nula. El resultado es una superficie con mayor estabilidad dimensional.

Aislamiento

El panel de yeso y fibras de madera, brinda propiedades de aislamiento más favorables que otras soluciones existentes en el mercado. Debido a su alta densidad y baja conductividad térmica, el material contribuye a mantener una temperatura constante, esto significa que un recto climatizado mantendrá la temperatura más eficazmente y durante más tiempo después de ser apagado el sistema, racionalizando el consumo de energía.

Datos técnicos comparativos del tablero de yeso y fibras de madera con el tablero aglomerado

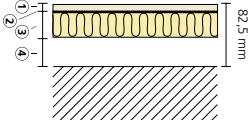
Propiedades	Tablero de yeso y fibras de madera	MDF
Densidad	1 250 kg/m ³	780 kg/m ³
Peso	15,0 kg/m ²	9,3 kg/m ²
Humedad relativa al suministro 65% RF+20°C	2%	5-8%
Diferencia de humedad 40-65% RF	2%	5-7%
Expansión lineal 30-80% RF	0,08%	0,4%
Conductividad térmica	0,24 W/Km	0,14 W/Km
Capacidad específica al calor	1 320 J/kg °C	1 851 J/kg °C
Clasificación anti-incendios Euroclass	A2	D
Gustafs Panel System	Panel BF	Panel aglomerado
Clasificación anti-incendios Euroclass	B-s1, d0	D-s1, d0

Seguros Caer, Madrid, España.
Arce natural, lino.
Arquitecto: Ricardo Sánchez Lampreave, Madrid.

Modelos acústicos

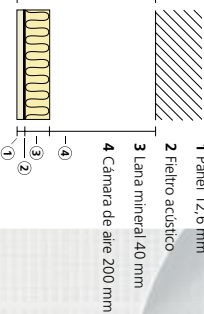
Paramento

- 1 Panel 12,6 mm
- 2 Filtro acústico
- 3 Lana mineral 40 mm
- 4 Cámara de aire 30 mm



Falso techo

- 1 Panel 12,6 mm
- 2 Filtro acústico
- 3 Lana mineral 40 mm
- 4 Cámara de aire 200 mm

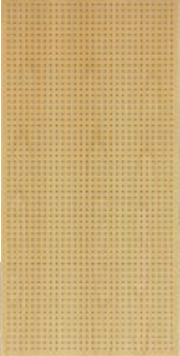
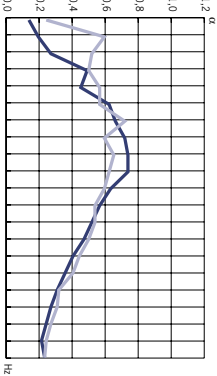


— Cámara de aire paramento 30mm

— Cámara de aire falso techo 200mm

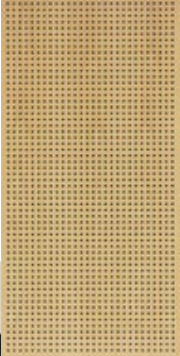
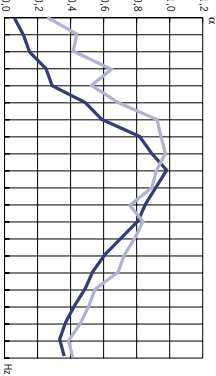
Absorption coefficient according to SS-EN 20354 (ISO 354) and evaluating to ISO 11654.

PH5 Perforación 5 mm



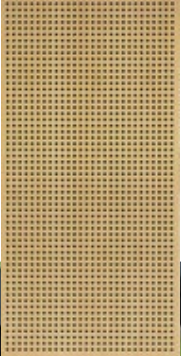
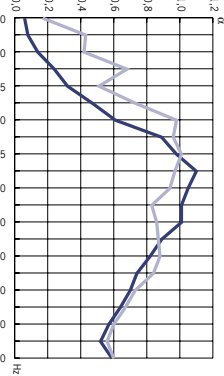
A = 20 mm, *B = 30 mm,
**C = 30 mm, E = 20 mm, Ø = 5 mm,
Clase de absorción D. Área abierta 5%.

PH8 Perforación 8 mm

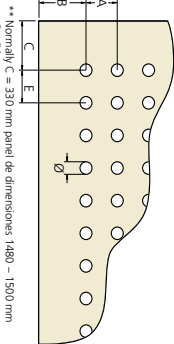
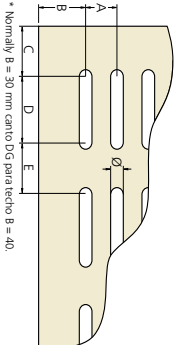


A = 20 mm, *B = 30 mm,
**C = 30 mm, E = 20 mm, Ø = 5 mm,
Clase de absorción D. Área abierta 12%.

PH10 Perforación 10 mm



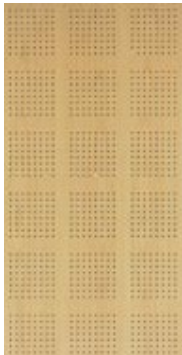
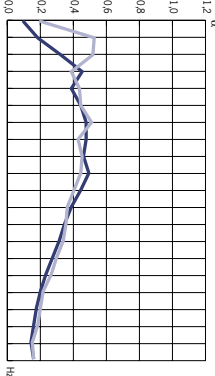
A = 20 mm, *B = 30 mm,
**C = 30 mm, E = 20 mm, Ø = 10 mm,
Clase de absorción C. Área abierta 18%.



* Normally B = 30 mm canto DG para techo B = 40.

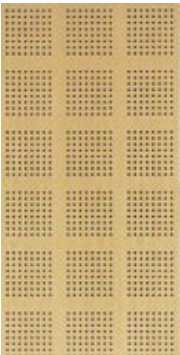
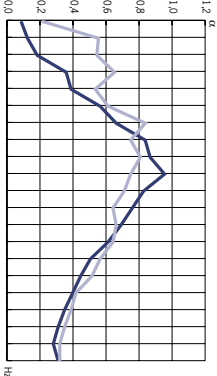
** Normally C = 330 mm panel de dimensiones 1480 - 1500 mm
C = 50 mm.

PG5 Perforación en grupos 5 mm



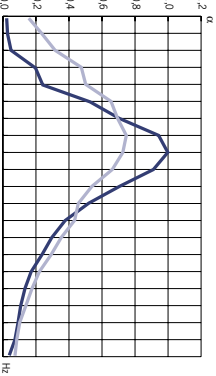
A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm, E = 20 mm,
Ø = 5 mm, Dimensiones modular 200 x 200 mm,
Clase de absorción: paramento E/D falso techo D.
Área abierta 3%.

PG8 Perforación en grupos 8 mm



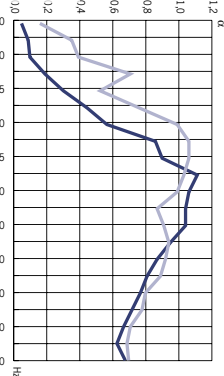
A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm, E = 20 mm,
Ø = 8 mm, Dimensiones modular 200 x 200 mm,
Clase de absorción D. Área abierta 8%.

PS2 Perforación ambas caras 3/10 mm



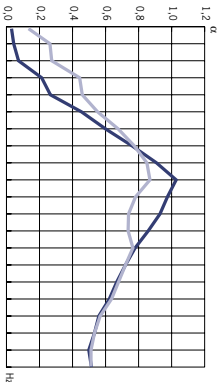
A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm,
E = 20 mm, Ø = 3 mm,
Clase de absorción E. Área abierta 2%.

PD8 Doble perforación 8 mm

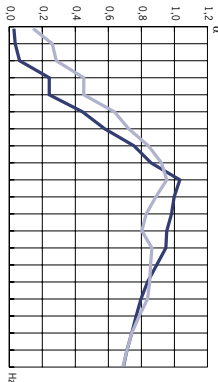


A = 10 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm,
E = 10 mm, Ø = 8 mm,
Clase de absorción B. Área abierta 24%.

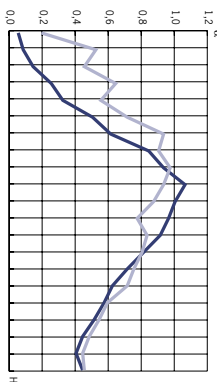
SM5 Mini-ranurado 5 mm



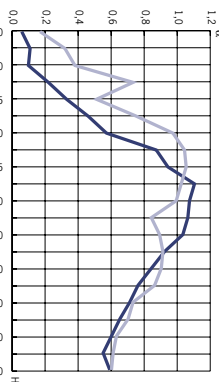
SM8 Mini-ranurado 8 mm



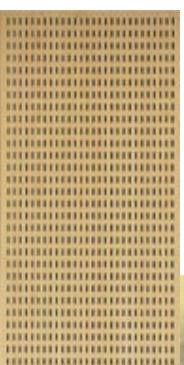
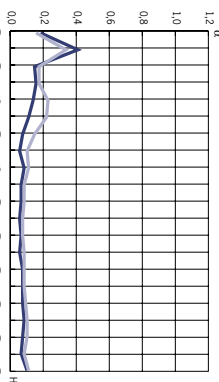
SH5 Ranurado 5 mm



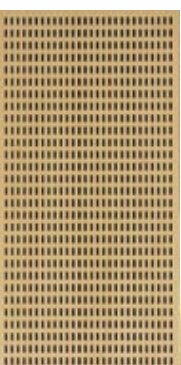
SH8 Ranurado 8 mm



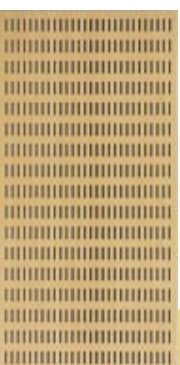
Liso



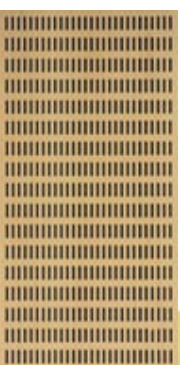
A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm,
D = 20 mm, E = 20 mm, Ø = 5 mm.
Clase de absorción C.
Área abierta 15%.



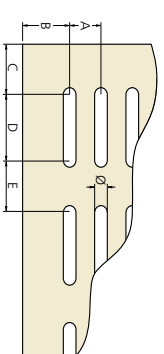
A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm,
D = 20 mm, E = 20 mm, Ø = 8 mm.
Clase de absorción B.
Área abierta 26%.



A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm,
D = 40 mm, E = 30 mm, Ø = 5 mm.
Clase de absorción C, paramento C;
falso techo D, Área abierta 15%.

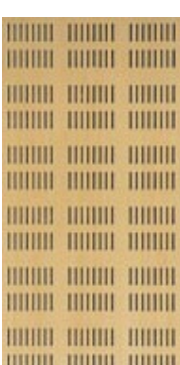
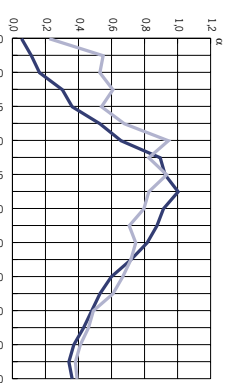


A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm,
D = 40 mm, E = 30 mm, Ø = 8 mm.
Clase de absorción C. Área abierta 26%.



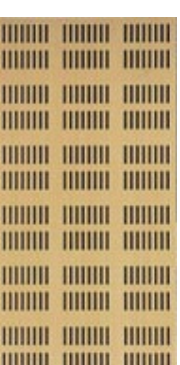
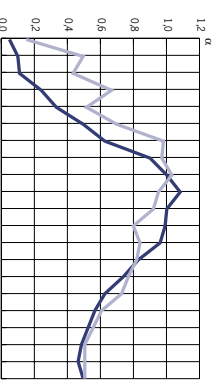
* Normalmente B = 30 mm canto DG para techo B = 40.

SG5 Ranurado en grupos 5 mm



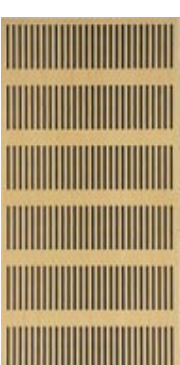
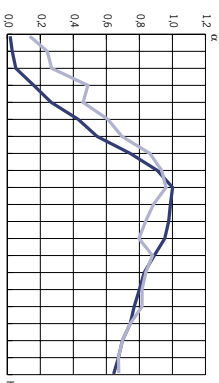
A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm,
D = 55 mm, E = 30 mm, Ø = 5 mm.
Dimensiones modular 200 x 200 mm.
Clase de absorción D. Área abierta 12%.

SG8 Ranurado en grupos 8 mm



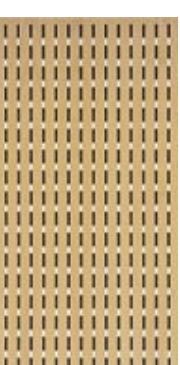
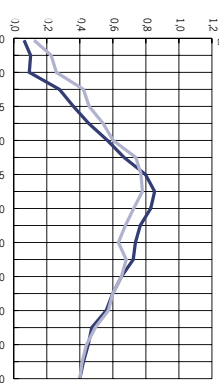
A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm,
D = 55 mm, E = 30 mm, Ø = 8 mm.
Dimensiones modular 200 x 200 mm.
Clase de absorción C. Área abierta 20%.

SX8 Maxi ranurado 8 mm

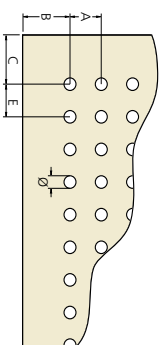


A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm,
D = 140 mm, E = 60 mm, Ø = 8 mm.
Clase de absorción B. Área abierta 29%.

RS8-CA0 Ranurado en calle abierta 8 mm



A = 40 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm,
D = 40 mm, E = 30 mm, Ø = 8 mm.
Clase de absorción C. Área abierta 13%.



** Normalmente C = 30 mm panel de dimensiones 1480 - 1500 mm
C = 50 mm.



Teatro dell'Istituto Canossiano, Feltre, Italia.
Haya natural, Iso y P18
Arquitectos: Politecne Ingegneria e Architettura,
Vicenza. Photo: Pietro Savorelli, Firenze.

- 1 Colocar rastrel horizontal.
- 2 Ajustar rastreles mediante cuñas.
- 3 Colocar lana mineral entre rastreles.
- 4 Seleccionar y distribuir paneles según color y forma de la veta
- 5 Instalar perfil Capax inferior.
- 6 Instalar panel siguiente.
- 7 Atornillar perfil Capax intermedio.
- 8 Medir dimensión del panel de remate.

Montaje en paramento

1 Rastreles y absorbente acústico
2 Perfil Capax
3 Gustaf's panel

1 Rastreles y cámara de aire
2 Rastreles y absorbente acústico
3 Perfil Capax
4 Gustaf's panel

1 Perfil metálico
2 12 mm tablero de madera laminada
3 Tablero de yeso
4 Perfil Capax
5 Gustaf's panel

1 Perfil metálico
2 2x12 mm tablero de yeso
3 12 mm tablero de madera laminada
4 Perfil Capax
5 Gustaf's panel

Mecanización de cantos

◀ Cantos barrizados.

G GP GS HP R A

Cantos en madera maciza o MDF chapada.

Paneles fijos

Paneles desmontables

Esquinas y encuentros

1 3204
2 3205
3 3203
4 3203
5 3218

6 3201
7 3202
8 3202
9 3209
10 3201

11 3208
12 3202
13 3202
14 3219
15 3201

16 3217
17 3206
18 3202
19 3218
20 3205

21 3201
22 3202
23 3200
24 3200
25 3220

26 3203
27 3207
28 3200
29 A-lst
30 3251 A

Abertura en pared >90 mm

Niveau

35 x 35 mm



Falso techo sin perfil de pared.



Desmontable individualmente.



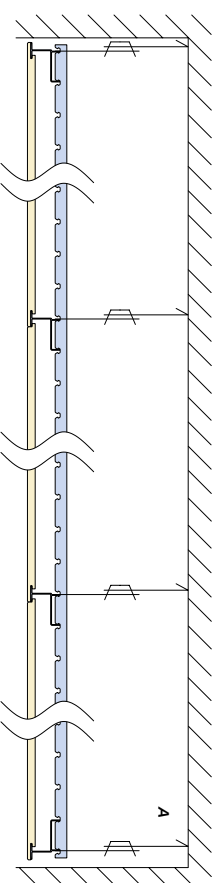
Sistema de suspensión oculto.

Instalación falso techo

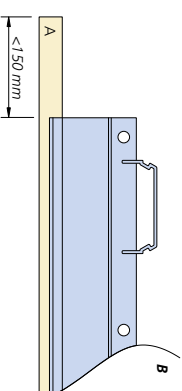
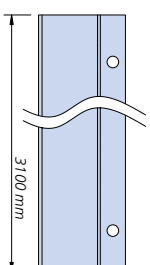
El nuevo sistema de instalación de Gustaf's para falsos techos constituye una mejora notable respecto a soluciones de montaje anteriores, aunque es un complemento más de los sistemas anteriores.

La característica más importante del nuevo sistema es estar dimensionado adecuadamente para soportar el peso de los paneles Gustaf's. La construcción es rígida, autoportante, y no necesita ser fijada sobre paredes adyacentes. El sistema permite el desmontaje de los paneles y, por consiguiente, el registro de las instalaciones técnicas sobre del falso techo, al tiempo que mantiene su estabilidad y rigidez. El sistema de perfiles de techo Capax es técnicamente atractivo y queda totalmente oculto.

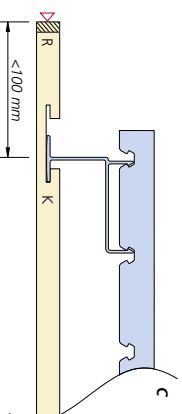
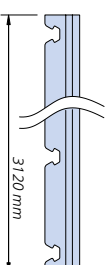
El sistema de falso techo Capax consiste en un compacto perfil de suspensión en forma de T que sostiene longitudinalmente los paneles. Los paneles quedan unidos unos a otros con toda precisión. El perfil principal queda fijado, creando una cuadrícula sólida. El sistema está previsto para un ancho de panel de 600 mm, pero permite también una variación de 50 mm entre 300 y 800 mm.



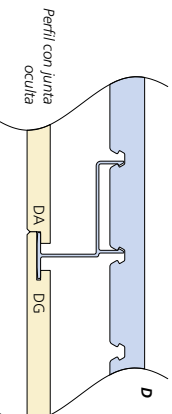
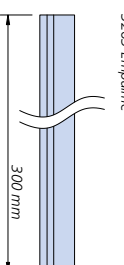
3261 Perfil de suspensión



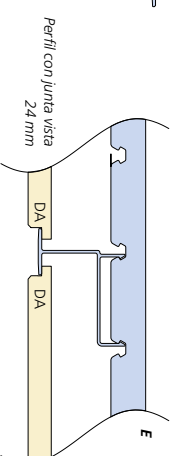
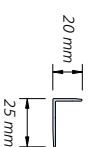
3262 Perfil secundario



3263 Empalme



3253 Perfil de pared



Estos detalles pueden descargarse en nuestra página web www.gustaf's.com.



1 Repanteo cuelgues



2 Instalar perfil de suspensión.



3 Empalmar perfil de suspensión.



4 Colocar perfil secundario cada 1200 mm.



5 Unir los perfiles mediante tornillos.



6 Instalar paneles.



7 Instalar lana mineral.



8 Limpiar instalación.



Ref. RENO-NIZA

RENO

Ancho/Width/Largeur:

145 cm

Composición/Composition/Support:

40% Trevira CS / 60 % Pes FR

Clasificació FR / Classment FR / FR Class:

M-1 C-1

Peso/Weight/Poids:

380 gr/m² +/- 5%

Solidez a la luz / Light fastness / Solidité lumière:

4 - 5

Resistencia a la abrasión/Abrasion

resistance/Résistance à l'abrasion:

>60.000 Ciclos/Cycles/Cycles

Pilling:

Clase A (UNE EN ISO 12945-2)

Resistencia a la tracción/ Breaking strenght /

Résistance à le traction

WARP: 1.200 WEFT: 1.150

Absorción acústica / Sound absorption /

Absorption acoustique:

$\alpha = 0.70$ (H) Clase C

NIZA

Ancho/Width/Largeur:

140 cm

Composición/Composition/Support:

62% Trevira CS / 38 % Pes FR

Clasificació FR / Classment FR / FR Class:

M-1 C-1

Peso/Weight/Poids:

500 gr/m² +/- 5%

Solidez a la luz / Light fastness / Solidité lumière:

4 - 5

Resistencia a la abrasión/Abrasion

resistance/Résistance à l'abrasion:

>100.000 Ciclos/Cycles/Cycles

Pilling:

Clase A (UNE EN ISO 12945-2)

Resistencia a la tracción/ Breaking strenght /

Résistance à le traction

WARP: 1.300 WEFT: 1.160

Absorción acústica / Sound absorption /

Absorption acoustique:

$\alpha = 0.70$ (H) Clase C



► Las características técnicas especificadas en el presente documento tienen valor únicamente informativo careciendo de carácter vinculante. El fabricante se reserva el derecho de introducir modificaciones en cualquier momento por razones evolutivas de producto o de mercado. El color puede variar de una partida a otra.

► The technical characteristics specified in this document are strictly informative and not guaranteed. The manufacturer reserves the right to introduce modifications at its discretion at any time. Colour may vary from batch to another.

Si necesita una muestra de color de 20 x 20 cm. por favor, solicítela a su proveedor habitual. Se la enviaremos al momento.

If you need any colour sample of 20 x 20 cm., do not hesitate in asking for it at his habitual supplier. We shall send it at once.

DABEDAN

TEJIDOS IGNÍFUGOS

RENO

NIZA

Ancho / Width / Largeur	145 cm	140 cm
Composición / Composition / Support:	40 % Trevira CS / 60 % Pes FR	62 % Trevira CS / 38 % Pes FR
Clasificació FR / Classment FR / FR Class:	M-1 C-1 (UNE EN 13773:2003)	M-1 C-1 (UNE EN 13773:2003)
Peso / Weight / Poids:	380 gr/m +/-5% (UNE EN 12.127)	500 gr/m +/-5% (UNE EN 12.127)
Solidez a la luz / Light fastness / Solidité lumière:	4 - 5 (UNE- EN ISO 105-B02-2013-2)	4 - 5 (UNE- EN ISO 105-B02-2013-2)
Resistencia a la abrasión / Abrasion resistance / Résistance à l'abrasion	> 60.000 c (UNE EN ISO 12947: 1999)	> 100.000 c (UNE EN ISO 12947: 1999)
Pilling	Classe A (UNE EN ISO 12945-2)	Classe A (UNE EN ISO 12945-2)
Resistencia a la Tracción / Résistance à la Traction / Breaking Strength	Warp: 1.200 Weft: 1.150 (UNE EN ISO 13934-1 2013)	Warp: 1.300 Weft: 1.160 (UNE EN ISO 13934-1 2013)
Absorción acústica / Sound absorption / Absorption acoustique	$\alpha = 0.70$ (H) Clase C (UNE-EN ISO 354:2004)	$\alpha = 0.70$ (H) Clase C (UNE-EN ISO 354:2004)



► Las características técnicas especificadas en el presente documento tienen valor únicamente informativo careciendo de carácter vinculante. El fabricante se reserva el derecho de introducir modificaciones en cualquier momento por razones evolutivas de producto o de mercado. El color puede variar de una partida a otra.

► The technical characteristics specified in this document are strictly informative and not guaranteed. The manufacturer reserves the right to introduce modifications at its discretion at any time. Colour may vary from batch to another.

Si necesita una muestra de color de 20 x 20 cm. por favor, solicítela a su proveedor habitual. Se la enviaremos al momento.

If you need any colour sample of 20 x 20 cm., do not hesitate in asking for it at his habitual supplier. We shall send it at once.



DABEDAN

TEJIDOS IGNÍFUGOS

RENO

NIZA

Absorción acústica /
Sound absorption
/ Absorption acoustique

$\alpha = 0.70$ [H] Clase C
(UNE-EN ISO 354:2004)

$\alpha = 0.70$ [H] Clase C
(UNE-EN ISO 354:2004)

