



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN LOS ESPACIOS INTERIORES Y EXTERIORES DEL CAMPUS DE GIJÓN

Cristina Noval Montequín^[*], Sandra Velarde Suárez^[**]

[*] Alumna; [**] Tutora

██████████@uniovi.es

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar las condiciones acústicas de diferentes espacios interiores y exteriores de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón. Para ello se siguieron los procedimientos de medida de tiempo de reverberación y aislamiento acústico indicados en la legislación y normativa vigente, obteniéndose las medidas, por medio de un sonómetro.

Finalmente, con objeto de evaluar las condiciones de confort acústico de los diferentes espacios, se compararon los parámetros acústicos obtenidos una vez tratados, con los fijados en el Código Técnico de Edificación y se propusieron medidas correctoras en los casos en los que estos superasen los valores límite establecidos en la legislación pertinente.

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the acoustic conditions of different indoor and outdoor spaces of the Polytechnic School of Engineering of Gijón. The reverb and sound insulation time have been evaluated following the procedures legislation and regulations measurements have been carried out by means of a sonometer.

Finally, in order to evaluate the acoustic comfort conditions of each space, the acoustic parameters were obtained through a series of equations that allow to establish a comparison with those described in the Technical Building Code and correct measures were proposed in cases where they exceed the limit values established in the relevant legislation.

1. INTRODUCCIÓN

La Acústica es la ciencia que estudia la transmisión y percepción del sonido, tanto en el intervalo de la audición humana como en el de las frecuencias ultrasónicas e infrasónicas.

Engloba un gran conjunto de áreas de trabajo, entre las que se encuentran: la acústica

arquitectónica o interacción del sonido con las construcciones, la ingeniería acústica que comprende el diseño y uso de instrumentos de medición del sonido, y el control del ruido y las vibraciones como medida de prevención para la salud.

En los edificios de ámbito educacional, la acústica arquitectónica tiene una importancia excepcional, que junto con una serie de condiciones como la iluminación, temperatura y ventilación garantiza el confort de las aulas, que va ligado en gran medida al rendimiento del alumnado y la calidad de la educación.

Unas condiciones deficitarias, como son un excesivo nivel de reverberación, ruido de fondo elevado o una mala distribución del sonido, dan lugar a pérdidas en la claridad de la transmisión del sonido y ecos que disminuyen considerablemente la inteligibilidad de la palabra.

Estudios previos acerca de la evaluación de la calidad acústica en aulas universitarias, como el de Martínez et al. [1] y González [2], entre otros, coinciden en que el principal efecto adverso que se relaciona directamente con un proceso educativo basado en la comunicación vía oral, es la pérdida de la inteligibilidad de la palabra, la cual es insuficiente, sobre todo en los puntos más alejados de la fuente cuando los tiempos de reverberación son altos, superiores a los 0.5-0.7 s recomendados por el DB-HR [3], para aulas y salas de conferencia.

En el trabajo de Singer [4], se señala que, generalmente, la voz de un profesor alcanza entre 51 y 78 dB(A) y, para que el discurso sea inteligible, este sonido debe ser de entre 15 y 25 dB(A) superior al ruido de fondo. En el estudio de Mihai et al. [5], se concluye que un valor de ruido de fondo aceptable está situado en torno a 30 dB(A), y que para valores superiores, cercanos a los 60 dB(A), comienzan a aparecer sensaciones desagradables, que en una escuela o espacio socio-cultural debilitan la capacidad de concentración de los ocupantes.



Por otra parte, en el trabajo de Artés [6], también se proporcionan datos sobre el impacto acústico en un Campus Universitario, donde se recogieron medidas de tiempo de reverberación de 3.5-4 s, muy superiores a los recomendados, y donde se refleja la necesidad de realizar modificaciones estructurales que aumenten la absorción acústica de la sala y por tanto, disminuyan este fenómeno de la reverberación.

En el Código Técnico de Edificación DB-HR de protección frente al ruido, se recogen los límites y recomendaciones específicas sobre tiempo de reverberación y aislamiento para edificios de ámbito educativo y cultural, mientras que en el *Anexo III del RD 1367/2007 [7]* se establecen los valores límite de ruido transmitido a locales colindantes de uso educativo o cultural.

Se sospecha que en el Campus de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, pueden existir dependencias en las que la calidad acústica no es especialmente buena. Por ello, el objetivo de este estudio es evaluar la calidad de zonas interiores y exteriores del Campus de Gijón. Se realizarán medidas acústicas en espacios interiores, como aulas y zonas comunes, y medidas en espacios exteriores del Campus, atendiendo a los siguientes parámetros fundamentales:

- Tiempo de reverberación, que se mide situando la fuente en una zona específica y realizando medidas en diferentes posiciones.
- Nivel de presión sonora, que permite evaluar si el ruido de fondo es demasiado elevado en el caso de medidas interiores.
- Aislamiento acústico, que se obtiene como diferencia entre el nivel de presión sonora del emisor (en un recinto) y el receptor (en un recinto contiguo).

2. MÉTODO DE TRABAJO

2.1. Tiempo de reverberación

Para medir el tiempo de reverberación se ha tenido en cuenta la *Norma UNE-EN ISO 3382-2:2008 [8]*. Esta Norma describe dos métodos para medir el tiempo de reverberación: el método del ruido interrumpido y el método de respuesta impulsiva integrada. Se selecciona como método de medida el método de respuesta impulsiva integrado, que para la excitación del recinto utiliza una fuente impulsiva. En este caso será el estallido de un globo.

Antes de cada medida, se debe llevar a cabo la calibración del sonómetro, asegurándose de que la

desviación no sea superior en 0.3 dB a la del valor de referencia. Se configura el sonómetro de manera que mida una señal de tipo impulso, y tal y como establece el método de ingeniería, que recoja medidas en un rango de frecuencias entre 125 y 4000 Hz en bandas de octava.

Las mediciones del tiempo de reverberación se realizan, acorde con la Tabla 2.1, para 6 combinaciones de fuente-micrófono, dos posiciones de la fuente y tres para el micrófono, realizando una sola medición para cada posición fuente-micrófono.

	Control	Ingeniería	Precisión
Combinaciones fuente-micrófono	2	6	12
Posiciones de la fuente	≥1	≥2	≥2
Posiciones de micrófono	≥2	≥2	≥3

Tabla 2.1.- Números y posiciones de fuente y micrófono [8]

Las posiciones del micrófono deben estar separadas al menos 2 m y la distancia desde cualquier posición del micrófono a la superficie reflectante más cercana (paredes, suelo, ventanas...) ha de ser de al menos 1 m. Se deben evitar posiciones simétricas y posiciones muy próximas a la fuente.

Una vez realizadas las medidas se obtienen para cada frecuencia de la banda de octava, los valores T20, T30. Cada uno de ellos corresponde a los datos de tiempo de reverberación extrapolando a 60 dB los tiempos registrados para un decaimiento de 20 dB (T20) y 30 dB (T30). En este estudio se utilizan los valores obtenidos para una caída de 20 dB (T20).

Con el fin de obtener un dato global de tiempo de reverberación que permita su comparación con los valores límite establecidos en la normativa, se realiza un promediado aritmético para cada una de las frecuencias de las seis mediciones realizadas, de manera que se obtiene un espectro final que comprende un rango de frecuencias entre 125 Hz y 4000 Hz, cada una con sus respectivos tiempos medios de reverberación. La expresión para una frecuencia f es la siguiente:

$$TR_f = \frac{TR_{1f} + TR_{2f} + TR_{3f} + TR_{4f} + TR_{5f} + TR_{6f}}{6} \quad (2.1)$$

Siendo TR_f el tiempo de reverberación medio para una frecuencia determinada y TR_{if}, el tiempo de reverberación para una frecuencia en una posición i.

Finalmente, para obtener el valor del tiempo de reverberación medio del recinto, se realiza la media aritmética entre los tiempos de reverberación de las



frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz como indica la siguiente ecuación:

$$TR = \frac{TR_{500} + TR_{1000} + TR_{2000}}{3} \quad (2.2)$$

El valor obtenido se compara con el recogido en *DB HR Protección frente al ruido*, concretamente en el apartado 2.2 de dicho documento, donde se especifican los *Valores límite de tiempo de reverberación*, siendo estos:

- $TR \leq 0.7$ s, en aulas y salas de conferencia vacías (sin ocupación y mobiliario), con un volumen menor de 350 m^3 .
- $TR \leq 0.5$ s, en aulas y salas de conferencia vacías (incluyendo butacas), con un volumen menor de 350 m^3 .
- $TR \leq 0.9$ s, en restaurantes y comedores vacíos.

En el caso en que los tiempos de reverberación medidos, superen los valores límite establecidos para cada caso, se proponen medidas correctoras para lo cual es necesario determinar la absorción equivalente global de la sala ($A_{eq,f}$), que es el número de Sabines que se necesita aumentar la absorción, para que el tiempo de reverberación esté dentro de los límites establecidos por la legislación. Esta se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$A_{eq,f} = A_{0.7} - A_{actual,f} \quad (2.3)$$

Donde $A_{0.7}$ es la absorción de la sala para un tiempo de reverberación de 0.7s y $A_{actual,f}$ es la absorción de la sala para cada tiempo de reverberación registrado en cada frecuencia. Ambas se calculan mediante la fórmula de Sabine que se indica a continuación.

$$A = \frac{0.16 \cdot V}{TR} \quad (2.4)$$

Siendo V el volumen de cada sala a evaluar y TR , como se ha citado anteriormente, con uno u otro valor dependiendo de la absorción que se desee calcular, $A_{0.7}$ (TR de 0.7s) o $A_{actual,f}$ (TR medidos para cada sala).

2.2. Nivel de presión sonora

Estas medidas se realizan siguiendo las pautas indicadas en el *Anexo IV - Parte A del RD 1367/2007, "Métodos de evaluación para los índices de ruido"* [7].

El sonómetro debe calibrarse al igual que en el apartado anterior y seleccionando la opción de campo libre se configura de manera que mida simultáneamente, en 1/3 de octava y en un intervalo de tiempo de 10 segundos:

- L_{Aeq} , nivel de presión sonora equivalente con ponderación A determinado en un intervalo temporal de 10 segundos.

- L_{Ceq} , nivel de presión sonora equivalente con ponderación C, para el caso en el que se perciban componentes de baja frecuencia.
- L_{AIEq} , nivel de presión sonora con ponderación A con constante temporal de impulso, que mide durante un intervalo temporal de 10 segundos las componentes impulsivas en el caso de que existan.

Se realizan 3 medidas de 10 segundos cada una en diferentes posiciones del recinto de estudio, teniendo en cuenta que la distancia entre dichas posiciones ha de ser superior a 1 metro al igual que la distancia a las paredes, y de aproximadamente 1.5 metros de distancia a ventanas. A su vez, el sonómetro ha de estar situado entre 1.2 y 1.5 metros sobre el suelo.

Una vez realizadas las medidas se calcula el índice de ruido continuo equivalente corregido por la presencia de componentes tonales emergentes (parámetro K_t), componentes de baja frecuencia (parámetro K_f) y ruido impulsivo (parámetro K_i) como:

$$L_{K_{eq}} = L_{Aeq} + K_t + K_f + K_i \quad (2.3)$$

Si la suma de los tres parámetros de corrección es superior a 9 dB, se corrige de forma global a 9.

Parámetro K_t

Para determinar este parámetro se calcula la diferencia (L_t) entre el nivel de presión sonora que contiene el tono emergente (L_p) y la media aritmética (L_s) de los niveles de la banda situada inmediatamente por encima y la situada inmediatamente por debajo de dicha frecuencia.

$$L_t = L_p - L_s \quad (2.4)$$

Una vez calculado este valor, recurriendo a la Tabla 2.2 siguiente se obtiene el valor del parámetro K_t .

Banda de frecuencia de 1/3 de octava	L_t en dB	Componente K_t en dB
De 20 a 125 Hz	Si $L_t < 8$	0
	Si $8 \leq L_t \leq 12$	3
	Si $L_t > 12$	6
De 160 a 400 Hz	Si $L_t < 5$	0
	Si $5 \leq L_t \leq 8$	3
	Si $L_t > 8$	6
De 500 a 10000 Hz	Si $L_t < 3$	0
	Si $3 \leq L_t \leq 5$	3
	Si $L_t > 5$	6

Tabla 2.2.- Obtención del parámetro K_t [7]

Parámetro K_f

Para determinar este parámetro se calcula la diferencia (L_f) entre el nivel de presión sonora



equivalente con ponderación C y el nivel de presión sonora equivalente con ponderación A.

$$L_f = L_{Ceq} - L_{Aeq} \quad (2.5)$$

Una vez calculado este valor, recurriendo a la Tabla 2.3 siguiente se obtiene el valor del parámetro K_f .

L_f en dB	Componente de baja frecuencia K_f en dB
Si $L_f < 10$	0
Si $10 \leq L_f \leq 15$	3
Si $L_f > 15$	6

Tabla 2.3.- Obtención del parámetro K_f [7]

Parámetro K_i

Para determinar este parámetro se calcula la diferencia (L_i) entre el nivel de presión sonora equivalente con ponderación A y constante temporal de impulso y el nivel de presión sonora equivalente con ponderación A.

$$L_i = L_{Aieq} - L_{Aeq} \quad (2.6)$$

Una vez calculado este valor, recurriendo a la Tabla 2.4 siguiente se obtiene el valor del parámetro K_i .

L_i en dB	Componente impulsiva K_i en dB
Si $L_i < 10$	0
Si $10 \leq L_i \leq 15$	3
Si $L_i > 15$	6

Tabla 2.4.- Obtención del parámetro K_i [7]

Aplicando estos parámetros correctores al nivel de presión sonora equivalente con ponderación A, se obtiene el nivel de presión sonora corregido. Teniendo en cuenta, como se menciona el RD 1367/2007, que "ningún valor ha de superar en 5 dB los valores fijados en la tabla B2 del Anexo III" se compara el valor resultante con los valores límites fijados para locales en la Tabla 2.5 siguientes.

Uso del local colindante	Tipo de recinto	Valores límite		
		Día	Tarde	Noche
Residencial	Zonas de estancia	40	40	30
	Dormitorios	35	35	25
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales	35	35	35
	Oficinas	40	40	40
Sanitario	Zonas de estancia	40	40	40
	Dormitorios	35	35	35
Educación o cultural	Aulas	35	35	35
	Salas de lectura	30	30	30

Tabla 2.5.- Valores límite de ruido en el interior de locales. [7]

Para el caso de las medidas realizadas en el exterior, la metodología a seguir es la misma que para las medidas interiores. Estas se han de comparar con las indicadas en la tabla B1 del Anexo III del RD 1367/2007 recogidas en la Tabla 2.6 siguiente, para

el espacio exterior de áreas urbanizadas ya existentes.

	Tipo de área acústica	Índices		
		L_d	L_e	L_n
e	Sectores del territorio con predominio del suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una protección contra la contaminación acústica	50	50	40
a	Sectores del territorio con predominio del suelo de uso residencial	55	55	45
d	Sectores del territorio con predominio del suelo de uso terciario distinto al contemplado en c).	60	60	50
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	63	63	53
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	65	65	55

Tabla 2.6.- Valores límite de ruido en el exterior [7]

2.3. Aislamiento acústico

Para llevar a cabo las medidas de aislamiento acústico a ruido aéreo se siguen los pasos de la Norma UNE EN ISO 16283-1:2015 [9]. Esta Norma permite la toma de medidas mediante un muestreo por puntos fijos o mediante un barrido. En este caso, se va a realizar la toma de medidas mediante un muestreo por puntos fijos.

El sonómetro debe calibrarse correctamente y seleccionando la opción de campo difuso se configura de manera que registre medidas de niveles de presión sonora en un rango de frecuencias de 50 Hz a 5000 Hz, en 1/3 de octava y en un intervalo de tiempo de 6 segundos.

La fuente generadora de ruido (situada en el recinto emisor) se coloca, al menos, en 2 posiciones diferentes y por cada posición de la fuente se llevan a cabo medidas de 5 posiciones de sonómetro (en el recinto receptor y otras 5 en el recinto emisor). La distancia entre el centro de la fuente y los límites del recinto ha de ser superior a 0.5 m y cada una de las posiciones de la fuente deben encontrarse a una distancia mínima de 0.7 m.

Las posiciones del sonómetro se distribuyen de manera uniforme en todo el espacio del recinto receptor, evitando planos paralelos a los límites de dicho recinto y manteniendo una distancia de 0.7 m entre diferentes posiciones del sonómetro y de 0.5 m a cualquier límite del recinto.

Se mide el nivel de presión sonora en el recinto receptor y en emisor para cada una de las posiciones mencionadas anteriormente, realizando este conjunto de medidas para cada una de las 2



posiciones de la fuente seleccionadas. Estas medidas se llevan a cabo tanto con la fuente apagada, para obtener el ruido de fondo, como con la fuente encendida emitiendo una señal de ruido rosa.

Se obtienen, en conjunto, 10 medidas de nivel de presión sonora, denominando L_1 al nivel de presión sonora en el recinto emisor y L_2 al del recinto receptor.

Cada medida se corrige con la correspondiente de ruido de fondo, y se calcula, para cada frecuencia, el aislamiento acústico bruto o diferencia de niveles entre recintos, D:

$$D = L_1 - L_2 \quad (2.7)$$

A continuación, se calcula, teniendo en cuenta el tiempo de reverberación del recinto receptor (TR) y fijando un tiempo de reverberación de referencia (TR_0) de 0.5 s, la diferencia de niveles estandarizada, entre recintos interiores (D_{nT}).

$$D_{nT} = D + 10 \log \frac{TR}{TR_0} \quad (2.8)$$

Dado que se realizaron medidas para dos puntos diferentes de la fuente, se realiza una media aritmética con la finalidad de obtener un único valor de diferencia de niveles estandarizada para cada frecuencia. Finalmente, se calcula la diferencia de niveles estandarizada ponderada A, de acuerdo a la expresión siguiente.

$$D_{nT,A} = -10 \log \sum_{i=1}^n (10^{(L_{Ar,i} - D_{nT,i})/10}) \quad (2.9)$$

Donde, los valores del espectro normalizado de ruido rosa ($L_{Ar,i}$) se recogen en la Tabla 2.7.

f_i (Hz)	$L_{Ar,i}$	f_i (Hz)	$L_{Ar,i}$
100	-30.1	800	-11.8
125	-27.1	1000	-11.0
160	-24.4	1250	-10.4
200	-21.9	1600	-10.0
250	-19.6	2000	-9.8
315	-17.6	2500	-9.7
400	-15.8	3150	-9.8
500	-14.2	4000	-10.0
630	-12.9	5000	-10.5

Tabla 2.7.- Valores de $L_{Ar,i}$ [9]

El valor obtenido se compara con el recogido en *DB HR Protección frente al ruido*, donde se especifica un valor mínimo de diferencia de niveles estandarizada ponderada A ($D_{nT,A}$) de 50 dBA para recintos protegidos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a la situación actual a causa del Covid-19, no ha sido posible la realización de la parte

experimental, por tanto, se han utilizado datos de tres trabajos anteriores: [10], [11], [12].

Las medidas se han llevado a cabo en distintas dependencias de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, seleccionando dos ubicaciones interiores y dos exteriores como se indican en la Figura 3.1.



Figura 3.1.- Situación de los diferentes puntos de toma de datos.

3.1. Sala de reuniones del Área de Mecánica de Fluidos del Edificio Departamental Este.

Los datos geométricos de esta sala son los que se indican en la Tabla 3.1 a continuación.

Volumen V (m ³)	213.7
Superficie total S_t (m ²)	136.6
Superficie techo S_c (m ²)	51.9 (34.6 útil)
Superficie paredes S_w (m ²)	84.7 (48 útil)

Tabla 3.1.- Datos geométricos de la sala.

Las posiciones para la realización de la toma de medidas de presión sonora, son las que se indican en la Figura 3.2 como P1, P2 y P3; mientras que para el tiempo de reverberación se ha situado la fuente en las posiciones F1 y F2 y se han realizado todas las combinaciones posibles entre estas y las tres mencionadas anteriormente.

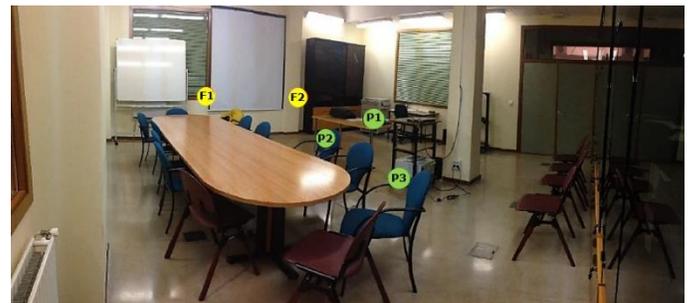


Figura 3.2.- Posiciones de la fuente y el sonómetro en la sala de reuniones del Área de Mecánica de Fluidos.

Niveles de presión sonora

Se ha realizado una medición de la presión sonora para cada posición (P1, P2, P3), que se ha corregido como se mencionó en el apartado correspondiente a la metodología y cuyos resultados son, para cada



posición, los que se muestran a continuación en las siguientes tablas.

En cada tabla (Tabla 3.2, Tabla 3.4 y Tabla 3.6), la segunda columna indica el nivel de presión sonora recogido por el sonómetro, la tercera columna muestra los valores de las componentes tonales calculadas y en la tercera, el factor de corrección asociado a dicha componente tonal, nulo en todos los casos ya que no se obtuvo ningún valor por encima de los 8 dB para frecuencias entre 20-125 Hz, 5 dB para frecuencias entre 160-400 Hz y 3 dB para frecuencias entre 500-10000 Hz.

• Posición 1

Frecuencia (Hz)	L _f (dB)	L _t (dB)	K _t (dB)
20	44.3	3.2	0
25	41.1	-1.9	-
31.5	41.7	2.3	0
40	37.8	-3.5	-
50	40.9	5.9	0
63	32.2	-5.1	-
80	33.7	2.2	0
100	30.8	-2.4	-
125	32.7	1.3	0
160	32	-1.0	-
200	33.2	0.6	0
250	33.3	-0.3	-
315	33.9	-1.5	-
400	37.4	2.2	0
500	36.5	0.5	0
630	34.7	-0.3	-
800	33.5	-0.2	-
1000	32.6	0.9	0
1250	29.9	-0.7	-
1600	28.5	-0.4	-
2000	27.9	1.4	0
2500	24.6	-0.1	-
3150	21.6	0.2	0
4000	18.2	-0.4	-
5000	15.7	0.1	0
6300	13.1	0.4	0
8000	9.8	-0.9	-
10000	8.4	-0.6	-

Tabla 3.2.- Valores de presión sonora recogidos en la posición 1 de la sala de reuniones.

Los datos obtenidos de niveles equivalentes con ponderación A, C y nivel equivalente de ruido impulsivo con ponderación A son los siguientes:

L _{Aeq} (dB)	L _{AIEq} (dB)	L _{CEq} (dB)
41.5	42.1	48.4

Las correcciones a aplicar son las que se indican a continuación en la Tabla 3.3, que se suman al nivel de presión sonora equivalente con ponderación A.

K _t (dB)	0
L _f (dB)	6.9
K _f (dB)	0
L _i (dB)	0.6
K _i (dB)	0

Tabla 3.3.- Correcciones a aplicar al nivel de presión sonora.

En esta primera posición, nivel de presión sonora equivalente corregido, L_{K_{eq}}, tiene un valor de 42 dB, que supera ligeramente el valor límite establecido por la legislación.

• Posición 2

Frecuencia (Hz)	L _p (dB)	L _t (dB)	K _t (dB)
20	36.2	-1.1	-
25	35.1	2.2	0
31.5	29.7	0.6	0
40	23.1	-6.0	-
50	28.5	4.1	0
63	25.7	-2.5	-
80	27.9	-0.5	-
100	31	2.3	0
125	29.5	-2.1	-
160	32.2	0.0	0
200	34.9	1.7	0
250	34.3	0.1	0
315	33.5	-1.8	-
400	36.3	1.9	0
500	35.3	0.0	0
630	34.2	0.0	0
800	33.2	0.0	0
1000	32.2	0.8	0
1250	29.6	-0.8	-
1600	28.5	-0.1	-
2000	27.7	1.3	0
2500	24.4	-0.3	-
3150	21.6	-0.1	-
4000	19.1	0.1	0
5000	16.4	-0.3	-
6300	14.3	0.5	0
8000	11.2	-0.6	-
10000	9.2	-0.7	-

Tabla 3.4.- Valores de presión sonora recogidos en la posición 2 de la sala de reuniones.

Los datos obtenidos de niveles equivalentes con ponderación A, C y nivel equivalente de ruido impulsivo con ponderación A son los siguientes:

L _{Aeq} (dB)	L _{AIEq} (dB)	L _{CEq} (dB)
41	41.6	45.2

Las correcciones a aplicar son las que se indican a continuación en la Tabla 3.5, que se suman al nivel de presión sonora equivalente con ponderación A.



K_t (dB)	0
L_f (dB)	4.2
K_f (dB)	0
L_i (dB)	0.6
K_i (dB)	0

Tabla 3.5.- Correcciones a aplicar al nivel de presión sonora.

En esta segunda posición, nivel de presión sonora equivalente corregido, L_{keq} , tiene un valor de 41 dB, que de nuevo supera ligeramente el valor límite establecido por la legislación.

• Posición 3

Frecuencia (Hz)	L_p (dB)	L_t (dB)	K_t (dB)
20	32.7	-3.3	-
25	36	2.3	0
31.5	34.6	2.1	0
40	29	-2.5	-
50	28.3	1.0	0
63	25.6	-0.6	-
80	24.2	-2.9	-
100	28.6	-2.4	-
125	37.7	7.9	0
160	31	-4.2	-
200	32.6	0.7	0
250	32.9	0.1	0
315	33	-3.2	-
400	39.5	4.8	0
500	36.4	-0.4	-
630	34	-1.1	-
800	33.7	0.4	0
1000	32.7	0.7	0
1250	30.4	-0.6	-
1600	29.2	-0.2	-
2000	28.4	1.4	0
2500	24.8	-0.1	-
3150	21.4	-0.1	-
4000	18.2	-0.3	-
5000	15.7	0	0
6300	13.2	-0.6	-
8000	9.7	-1.1	-
10000	8.3	-0.6	-

Tabla 3.6.- Valores de presión sonora recogidos en la posición 3 de la sala de reuniones.

Los datos obtenidos de niveles equivalentes con ponderación A, C y nivel equivalente de ruido impulsivo con ponderación A son los siguientes:

L_{Aeq} (dB)	L_{A1eq} (dB)	L_{Ceq} (dB)
41.9	42.5	46.2

Las correcciones a aplicar son las que se indican a continuación en la Tabla 3.7, que se suman al nivel de presión sonora equivalente con ponderación A.

K_t (dB)	0
L_f (dB)	4.3
K_f (dB)	0
L_i (dB)	0.6
K_i (dB)	0

Tabla 3.7.- Correcciones a aplicar al nivel de presión sonora.

En esta última posición, nivel de presión sonora equivalente corregido, L_{keq} , tiene un valor de 42 dB, superando también valor límite establecido por la legislación.

Dado que en las tres posiciones se supera en más de 5 dB el valor límite de 35 dB, se puede asociar esta elevada lectura a la estructura abierta de la sala, ya que comunica a través de algunos huecos del techo con otras dependencias del edificio, como por ejemplo, salas de ordenadores.

Tiempo de reverberación

Se han realizado 6 mediciones para la obtención del tiempo de reverberación medio del recinto, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.8 y que se comparan con el valor límite fijado en la legislación en la Figura 3.3.

Frecuencia (Hz)	TR (s)
125	1.2
250	1.3
500	1.3
1000	1.3
2000	1.2
4000	1.1

Tabla 3.8.- TR promedio de las 6 medidas tomadas en la sala de reuniones del Área de Mecánica de Fluidos.

El tiempo de reverberación corregido tiene un valor de 1.3 s, el cual supera en gran medida a los 0.7 s, límite marcado por la legislación, por lo tanto es necesario aplicar medidas correctoras.

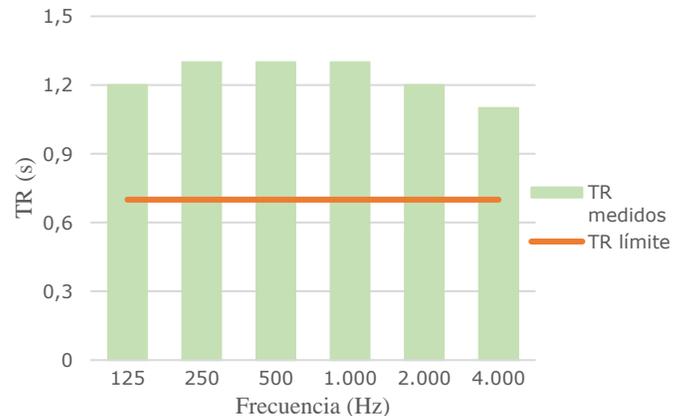


Figura 3.3.- Comparación del tiempo de reverberación de la sala con el valor límite establecido



Para ello, se calcula, como se comentó en el apartado de la metodología, la absorción actual, la absorción para un tiempo de reverberación de 0.7 s y la absorción equivalente para cada frecuencia.

Frec.(Hz)	TR (s)	A _{actual,f} (m ² Sabine)	A _{eq,f} (m ² Sabine)
125	1.2	28.5	20.4
250	1.3	26.3	22.5
500	1.3	26.3	22.5
1000	1.3	26.3	22.5
2000	1.2	28.5	20.4
4000	1.1	31.1	17.8

Tabla 3.9.- Absorciones para cada frecuencia.

Donde A_{0.7} para un volumen de sala de 213.7 m³ tiene un valor de 48.8 m² Sabine.

Medidas correctoras

En la sala se han detectado niveles de presión sonora ligeramente superiores a los permitidos que pueden ser debidos a que ciertas zonas de techo están comunicadas con despachos y salas de ordenadores.

En cuanto al tiempo de reverberación, este supera en gran medida el máximo permitido para lograr una buena inteligibilidad y transmisión de la palabra por lo que se proponen las siguientes alternativas como medidas correctoras:

• Alternativa 1

La primera propuesta consiste en el uso de *BuzziTotem Beam L* (Figura 3.4), elementos acústicos decorativos realizados en espuma absorbente revestida en tela y con una base de acero inoxidable sobre la que apoyan.



Figura 3.4.- BuzziTotem Beam L.

Se utilizan generalmente en despachos y oficinas ya que permiten una rápida colocación a la vez que ejercen de elemento decorativo, permitiendo acabados en telas de colores sólidos o impresos con diseños personalizados.

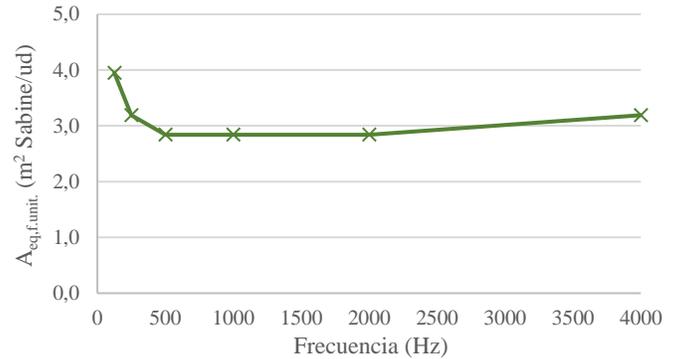


Figura 3.5.- Área de absorción equivalente unitaria en función de la frecuencia.

Este producto se presenta en tres tamaños (pequeño, mediano y grande), de manera que para el tamaño más grande, con unas dimensiones de 520x1900x520 mm, se consiguen los valores de área de absorción equivalente por unidad instalada que se muestran en la Figura 3.5.

Conocido el área de absorción equivalente de cada tótem y el área equivalente necesaria para cada frecuencia, se obtiene, como se muestra en la Tabla 3.10, el número de tótems necesarios para lograr un tiempo de reverberación máximo de 0.7s en cada frecuencia.

$$N^{\circ} \text{ unidades} = \frac{A_{eq,f}}{A_{eq,f,unit.}} \quad (3.1)$$

Frec. (Hz)	A _{eq,f} (m ² Sabine)	A _{eq,f,unit.} (m ² Sabine/ud)	Unidades
125	20.4	3.95	5
250	22.5	3.19	7
500	22.5	2.84	8
1000	22.5	2.84	8
2000	20.4	2.84	8
4000	17.8	3.19	6

Tabla 3.10.- Número de unidades necesarias.

Seleccionando el mayor número de unidades a instalar, en este caso 8 unidades, se asegura que para todas las frecuencias se consigue la reducción al TR antes mencionado.

En cuanto a la parte económica, cada unidad tiene un coste de aproximadamente 939 €, por lo que el precio de esta alternativa sería de:

$$8 \text{ tótems} \cdot 939 \text{ €/tótem} = \mathbf{7512 \text{ €}}$$

• Alternativa 2

La segunda propuesta consiste en la utilización de *Acustiart-100/2* (Figura 3.6), unos paneles de fibra de poliéster con una estructura de aluminio y acabados en tela de distintos colores.



Figura 3.6.- Acustiart-100/2.

Estos paneles son muy utilizados en oficinas, despachos, restaurantes y locales de ensayo. Debido a su amplia gama de colores, se pueden combinar para obtener ambientes estéticos.

Las dimensiones de los paneles son 1000x1000 mm, con un espesor de 100 mm y los coeficientes de absorción de dicho material son los que se indican en la Figura 3.7.

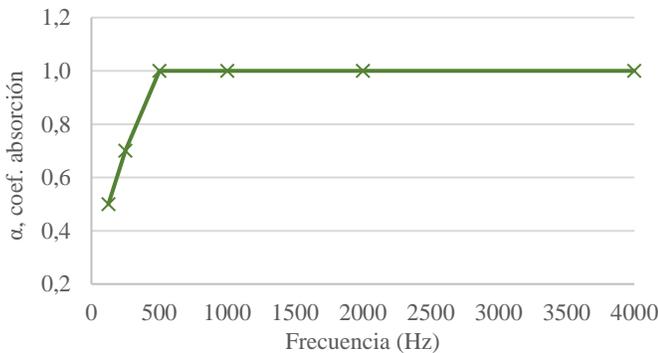


Figura 3.7.- Coeficientes de absorción en función de la frecuencia para Acustiart-100/2.

Teniendo en cuenta los coeficientes de absorción para los paneles y la absorción equivalente para cada frecuencia ($A_{eq,f}$), se obtiene, como cociente entre ambos, el área de material necesario que se indica en la Tabla 3.11.

Frec. (Hz)	$A_{eq,f}$ (m ² Sabine)	α_p	$A_{necesaria}$ (m ²)
125	20.4	0.50	40.7
250	22.5	0.70	32.2
500	22.5	1.00	22.5
1000	22.5	1.00	22.5
2000	20.4	1.00	20.4
4000	17.8	1.00	17.8

Tabla 3.11.- Área de material necesario.

Se ha resaltado el mayor área de material necesario, en este caso el correspondiente a una frecuencia de 125 Hz. Añadiendo un material que aporte esta superficie, se asegura que el tiempo de

reverberación sea menor de 0.7 s para todas las frecuencias.

A continuación, teniendo en cuenta que cada panel ocupa una superficie de 1m², se calculan las unidades necesarias para aportar 40.7 m² de superficie.

$$\frac{40.7 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2/\text{panel}} \cong 41 \text{ paneles}$$

Dado que se necesita una superficie de aproximadamente 41 m² y la superficie útil de la pared es de 48 m², se dispone del espacio necesario para su colocación.

Ya que el coste de cada panel es de 104.37 €, el precio de esta alternativa sería de:

$$41 \text{ paneles} \cdot 104.37 \text{ €/panel} = \mathbf{4279.17 \text{ €}}$$

• **Alternativa 3**

La tercera propuesta consiste en la utilización de *Acoustic cube* AOS (Figura 3.8), un absorbente acústico decorativo compuesto por fibra de melanina y con acabado en tejido de diferentes colores.



Figura 3.8.- Acoustic cube AOS.

Las dimensiones de estos cubos son de 500x500x500 mm y se disponen colgados del techo. La absorción de dicho material es la que se indica en la Figura 3.9 a continuación.

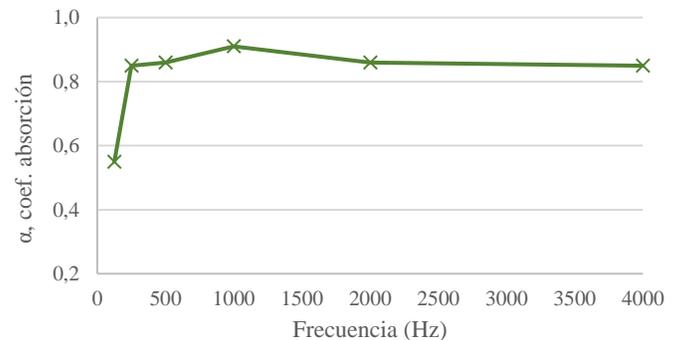


Figura 3.9.- Coeficiente de absorción para Acoustic cube AOS.

El área de material necesario, calculado al igual que en la alternativa anterior, es el que se indica en la Tabla 3.12.



Frec.(Hz)	$A_{eq,f}(m^2 \text{ Sabine})$	α_p	$A_{necesaria} (m^2)$
125	20.4	0.55	37.0
250	22.5	0.85	26.5
500	22.5	0.86	26.2
1000	22.5	0.91	24.8
2000	20.4	0.86	23.7
4000	17.8	0.85	20.9

Tabla 3.12.- Área de material necesario.

Se ha resaltado el mayor área de material necesario, que corresponde de nuevo a una frecuencia de 125 Hz. A continuación y teniendo en cuenta las dimensiones de cada cubo, se calculan las unidades necesarias para aportar 37 m² de superficie necesaria.

$$\text{Área cubo} = 6 \cdot (0.5 \cdot 0.5) m^2 = 1.5 m^2$$

$$\frac{37 m^2}{1.5 m^2/\text{cubo}} \cong 25 \text{ cubos}$$

La superficie útil del techo es de 34.6 m² y los cubos se disponen colgados verticalmente por una de sus aristas, por lo que se podrían colocar sin problema de espacio.

Como cada cubo tiene un coste de 108.60 €, el precio de esta alternativa sería de:

$$25 \text{ cubos} \cdot 108.60 \text{ €/cubo} = \mathbf{2715 \text{ €}}$$

• Solución recomendada

Para esta sala la mejor solución, basándose en aspectos tanto estéticos como económicos es la Alternativa 3, *Acoustic cube AOS*. Estos cubos permiten reducir los tiempos de reverberación a los exigidos en la legislación, incluso para las frecuencias más bajas con el menor coste económico, sin dificultad de instalación y consiguiendo una estética agradable.

3.2. Aula 7 del Edificio Departamental Este.

Los datos geométricos de esta sala son los que se indican en la Tabla 3.13 a continuación.

Volumen V (m ³)	163.28
Superficie total S _t (m ²)	148.8
Superficie techo S _c (m ²)	48.56 (38.9 útil)
Superficie paredes S _w (m ²)	100.24 (70.17 útil)

Tabla 3.13.- Datos geométricos de la sala.

No se disponen de datos de presión sonora en este aula, pero sí de tiempos de reverberación, que se muestran a continuación.

Tiempo de reverberación

Se han realizado 2 mediciones para la obtención del tiempo de reverberación medio del aula, cuyas

posiciones se indican en la Figura 3.10, obteniendo los valores medios de la Tabla 3.14.

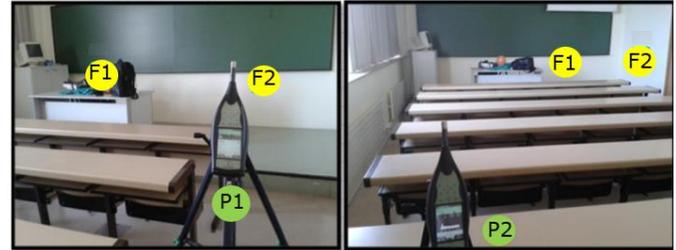


Figura 3.10.- Posiciones fuente y sonómetro en el aula 7 D.E.

Frecuencia (Hz)	TR (s)
125	1.5
250	1.4
500	1.3
1000	1.2
2000	1.3
4000	1.2

Tabla 3.14.- Tiempo de reverberación promedio de las 2 medidas tomadas en el aula 7 del Edificio Departamental Este.

El tiempo de reverberación corregido TR tiene un valor de 1.3 s, superando los 0.7 s límite marcado por la legislación por lo tanto en este recinto también es necesario aplicar medidas correctoras. La absorción actual, la absorción para un tiempo de reverberación de 0.7 s y la absorción equivalente para cada frecuencia son las que se indican a continuación.

Frec. (Hz)	TR (s)	$A_{actual,f} (m^2 \text{ Sabine})$	$A_{eq,f} (m^2 \text{ Sabine})$
125	1.5	17.0	20.4
250	1.4	19.1	18.3
500	1.3	20.4	16.9
1000	1.2	22.0	15.4
2000	1.3	19.5	17.8
4000	1.2	21.8	15.6

Tabla 3.15.- Absorciones para cada frecuencia.

Donde $A_{0.7}$ para un volumen de sala de 163.28 m³ tiene un valor de 37.3 m² Sabine.

Medidas correctoras

• Alternativa 1

La primera propuesta se trata del uso de *Acustifiber F25G* (Figura 3.11), que consiste en un material absorbente compuesto de fibra de poliéster y espesor 25 mm que se puede colocar en la estructura de techos y paredes.

Este producto se presenta en placas de 1000x2000 mm y su coeficiente de absorción varía con la frecuencia como se indica en la Figura 3.12.

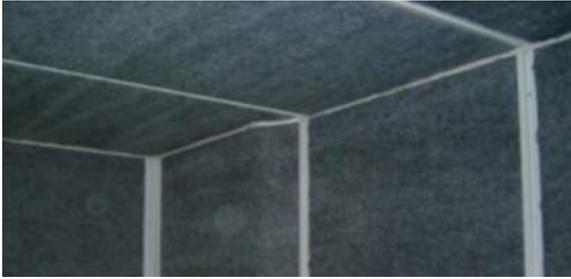


Figura 3.11.- Acustifiber F25G.

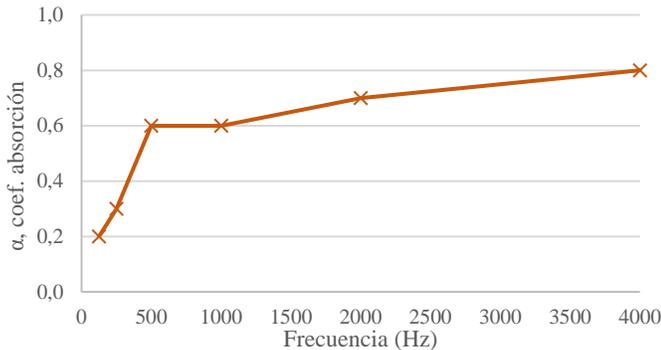


Figura 3.12.- Coeficiente de absorción para Acustifiber F25G.

El área de material necesario se indica en la Tabla 3.16, resaltando el mayor área que haría falta para asegurar que los tiempos de reverberación registrados tras la corrección se mantengan por debajo de los 0.7s límite.

Frec.(Hz)	$A_{eq,f}$ (m ² Sabine)	α_p	$A_{necesaria}$ (m ²)
125	20.4	0.2	101.78
250	18.3	0.3	60.84
500	16.9	0.6	28.19
1000	15.4	0.6	25.61
2000	17.8	0.7	25.46
4000	15.6	0.8	19.44

Tabla 3.16.- Área de material necesario.

Teniendo que cada placa ocupa un área de 2m², se calculan las unidades necesarias para aportar los 101.78 m² de superficie necesaria.

$$\frac{101.78 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2/\text{ud}} \cong 51 \text{ unidades}$$

Cada placa tiene un coste de aproximadamente 13 €, por lo que el precio de esta alternativa sería de:

$$51 \text{ ud} \cdot 13 \text{ €/ud} = \mathbf{663 \text{ €}}$$

• **Alternativa 2**

La segunda propuesta consiste en la utilización de *Rockfon Eclipse* (Figura 3.13), unos paneles a modo de murales lisos, compuestos por lana de roca que se instalan en las paredes.



Figura 3.13.- Rockfon Eclipse.

Estos paneles son muy utilizados en oficinas e incluso zonas deportivas y se pueden encontrar con forma circular o rectangular.

A fin de instalar paneles con un mayor área equivalente de absorción unitaria, se han seleccionado paneles de forma cuadrada con unas dimensiones 1160x1160 mm, ya que estos son ligeramente superiores a los de forma circular. Con estos paneles se consiguen los valores de área de absorción equivalente por unidad instalada que se muestran en la Figura 3.14.

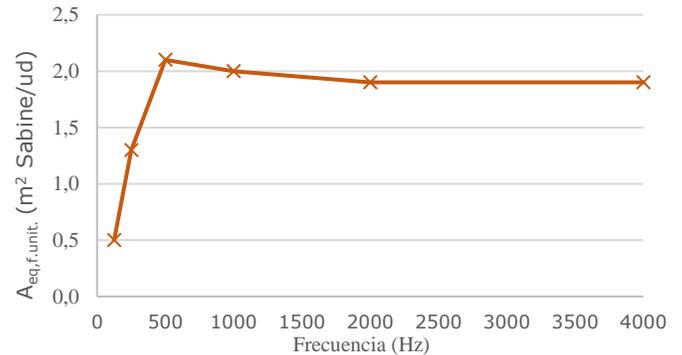


Figura 3.14.- Área de absorción equivalente unitaria de Rockfon Eclipse.

Conocido el área de absorción equivalente de cada panel y el área equivalente necesaria para cada frecuencia, se obtiene el número de paneles necesarios para lograr un tiempo de reverberación máximo de 0.7s en cada frecuencia.

Frec. (Hz)	$A_{eq,f}$ (m ² Sabine)	$A_{eq,f,unit}$ (m ² Sabine/ud)	Unidades
125	20.4	0.50	41
250	18.3	1.30	14
500	16.9	2.10	8
1000	15.4	2.00	8
2000	17.8	1.90	9
4000	15.6	1.90	8

Tabla 3.17.- Área de material necesario.



Seleccionando el mayor número de unidades a instalar, en este caso 41 paneles, se asegura que para todas las frecuencias se consigue la reducción al TR antes mencionado.

Como cada panel tiene una superficie de 1.35 m² y se necesitan 41 paneles, la superficie disponible necesaria para su instalación ha de ser como mínimo de 55.4 m². Al contar con una superficie de pared superior, de 70.17 m², esta alternativa puede considerarse viable.

En cuanto a la parte económica, cada panel tiene un coste de aproximadamente 104.24 €, por lo que el precio de esta alternativa sería de:

$$41 \text{ paneles} \cdot 104.24 \text{ €/panel} = \mathbf{4273.84 \text{ €}}$$

• **Alternativa 3**

La tercera y última propuesta consiste en la utilización de paneles *Decustik PAP028* (Figura 3.15), unas placas perforadas de fácil instalación en paredes y techos, fabricadas en madera y con la posibilidad de ser perforadas o mecanizadas para la integración de luminarias y otros equipamientos

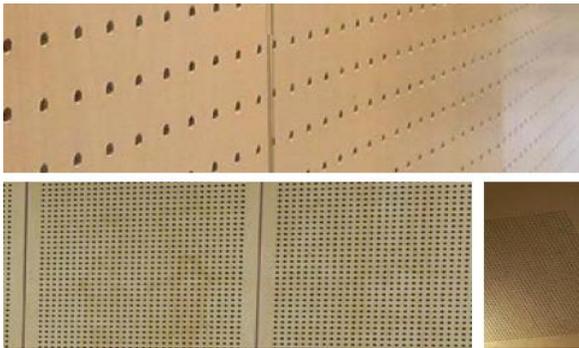


Figura 3.15.- Panel Decustik PAP028.

Las dimensiones de estas placas son 1200x600 mm y el coeficiente de absorción de dicho material es el que se indica en la Figura 3.16.

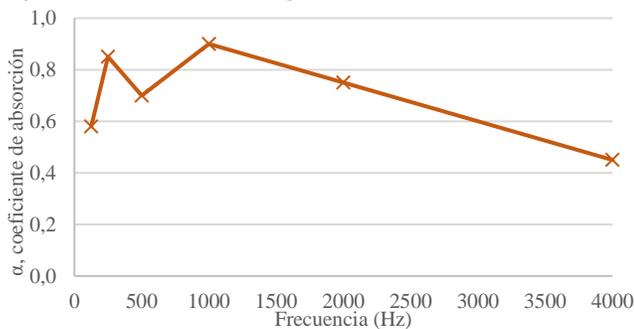


Figura 3.16.- Coeficientes de absorción Decustik PAP028

El área de material necesario es el que se indica en la Tabla 3.18.

Frec. (Hz)	A _{eq,f} (m ² Sabine)	α _p	A _{necesaria} (m ²)
125	20.4	0.58	35.10
250	18.3	0.85	21.47
500	16.9	0.70	24.16
1000	15.4	0.90	17.08
2000	17.8	0.75	23.77
4000	15.6	0.45	34.56

Tabla 3.18.- Área de material necesario.

Teniendo en cuenta las dimensiones de cada placa, se calcula el número de placas necesarias para cubrir esos 35.1 m² de superficie requerida.

$$\begin{aligned} \text{Área placa} &= 1.2 \times 0.6 \text{ m}^2 = 0.72 \text{ m}^2 \\ \frac{35.1 \text{ m}^2}{0.72 \text{ m}^2/\text{placa}} &\cong 49 \text{ placas} \end{aligned}$$

La superficie útil de la pared es de 70.17 m² por lo que no habría problema de espacio para su colocación. En cuanto a la parte económica, cada placa tiene un coste de 33.62 €, por lo que el precio de esta alternativa sería de:

$$49 \text{ placas} \cdot 33.62 \text{ €/placa} = \mathbf{1647.38 \text{ €}}$$

• **Solución recomendada**

Para esta aula la mejor solución es la Alternativa 1, *Acustifiber F25G*, ya que consigue una reducción en cuanto a los tiempos de reverberación similar a las otras dos propuestas, pero con un coste mucho menor. No afecta a la estética del aula ya que es un material que va integrado en la estructura de la sala y no requiere un montaje complicado, por lo que se selecciona como la mejor de las alternativas.

3.3. Zona exterior de la biblioteca del Aulario Norte.

Las medidas registradas en esta zona exterior son las siguientes:

Frec. (Hz)	L _p (dB)	L _t (dB)	K _t (dB)
20	58.3	3.7	-
25	54.6	-0.9	0
31.5	52.7	-3.5	0
40	57.7	0.6	-
50	61.5	3.6	0
63	58.2	3.4	-
80	48.1	-3.7	-
100	45.4	-1.8	0
125	46.2	0.7	-
160	45.7	-0.3	0
250	50.1	1.5	0
315	51.3	-1.8	-
400	56.1	1.6	0

Tabla 3.19.- Valores de presión sonora recogidos en la zona exterior de la biblioteca del Aulario Norte.



Frec. (Hz)	L _p (dB)	L _t (dB)	K _t (dB)
500	57.8	1.3	0
630	56.9	0.1	0
800	55.8	0	0
1000	54.6	0.5	0
1250	52.4	-1	-
1600	52.2	0.8	-
2000	50.4	0.2	0
2500	48.1	-0.7	-
3150	47.3	0.8	-
4000	45	1.1	0
5000	40.5	1.1	-
6300	33.9	-2.4	0
8000	32.1	1.6	-
10000	27.1	-5	-

Tabla 3.19 (Continuación).- Valores de presión sonora recogidos en la zona exterior de la biblioteca del Aulario Norte.

Los datos obtenidos de niveles equivalentes con ponderación A, C y nivel equivalente de ruido impulsivo con ponderación A son los siguientes:

L _{Aeq} (dB)	L _{A1eq} (dB)	L _{Ceq} (dB)
63.4	67	67.7

Las correcciones a aplicar son las que se indican a continuación en la Tabla 3.20, que se suman al nivel de presión sonora equivalente con ponderación A.

K _t (dB)	0
L _f (dB)	4.3
K _f (dB)	0
L _i (dB)	3.6
K _i (dB)	0

Tabla 3.20.- Correcciones a aplicar al nivel de presión sonora.

El nivel de presión sonora equivalente corregido tiene un valor de 64 dB, superando el valor límite establecido por la legislación para ambientes exteriores.

3.4. Zona exterior de la cafetería del Edificio Polivalente.

Las medidas registradas en esta zona exterior son las siguientes:

Frecuencia (Hz)	L _p (dB)	L _t (dB)	K _t (dB)
20	76.2	4.4	-
25	71.8	-1.2	0
31.5	69.7	0.5	0
40	66.6	-0.4	-
50	64.3	0.4	0
63	61.2	0.3	-
80	57.5	0.1	-
100	53.6	-0.2	0

Tabla 3.21.- Valores de presión sonora de la zona exterior de la cafetería del Edificio Polivalente.

Frecuencia (Hz)	L _p (dB)	L _t (dB)	K _t (dB)
125	50.1	-1.2	-
160	48.9	0	0
200	47.6	0	0
250	46.4	-0.3	0
315	45.8	0	-
400	45.1	-0.6	0
500	45.6	0.1	0
630	45.8	0.1	0
800	45.7	-0.3	0
1000	46.3	1.3	0
1250	44.2	0.1	-
1600	42	-0.2	-
2000	40.1	0	0
2500	38.2	-0.3	-
3150	36.9	0.1	-
4000	35.4	0.1	0
5000	33.6	0.4	-
6300	31.1	0.4	0
8000	27.8	0.2	-
10000	24.1	-3.7	-

Tabla 3.21 (Continuación).- Valores de presión sonora de la zona exterior de la cafetería del Edificio Polivalente.

Los datos obtenidos de niveles equivalentes con ponderación A, C y nivel equivalente de ruido impulsivo con ponderación A son los siguientes:

L _{Aeq} (dB)	L _{A1eq} (dB)	L _{Ceq} (dB)
54	56.2	77.8

Las correcciones a aplicar son las que se indican a continuación en la Tabla 3.22, que se suman al nivel de presión sonora equivalente con ponderación A.

K _t (dB)	0
L _f (dB)	23.8
K _f (dB)	6
L _i (dB)	2.2
K _i (dB)	0

Tabla 3.22.- Correcciones a aplicar al nivel de presión sonora.

En esta posición, el nivel de presión sonora equivalente corregido tiene un valor de 60 dB, alcanzando el valor límite establecido por la legislación para ambientes exteriores.

CONCLUSIONES

De este estudio puede decirse que los niveles de presión sonora registrados, tanto en los espacios interiores como en los exteriores del campus de Gijón, superan ligeramente los valores límite establecidos por la legislación.

Por otra parte, los tiempos de reverberación recogidos de las zonas interiores del Campus de Gijón superan notablemente los valores límite exigidos,



siendo necesaria la aplicación de una serie de medidas correctoras. En ambos recintos, se han propuesto materiales absorbentes que consiguen reducir los tiempos de reverberación registrados hasta niveles óptimos de confort acústico, dando lugar a una mejora en la claridad de la transmisión del sonido y en la inteligibilidad de la palabra.

NOMENCLATURA

TR_f (s): Tiempo de reverberación medio para cada frecuencia

TR (s): Tiempo de reverberación medio del recinto

TR₅₀₀ (s): Tiempo de reverberación para una frecuencia de 500 Hz

TR₁₀₀₀ (s): Tiempo de reverberación para una frecuencia de 1000 Hz

TR₂₀₀₀ (s): Tiempo de reverberación para una frecuencia de 2000 Hz

A_{eq,f} (m² Sabine): Absorción equivalente global del recinto

A_{0.7} (m² Sabine): Absorción del recinto para un tiempo de reverberación de 0.7 s

A_{actual,f} (m² Sabine): Absorción del recinto para cada tiempo de reverberación registrado en cada frecuencia

L_{Aeq} (dB): Nivel de presión sonora equivalente con ponderación A

L_{Ceq} (dB): Nivel de presión sonora equivalente con ponderación C

L_{AIeq} (dB): Nivel de presión sonora equivalente con ponderación A con constante temporal de impulso

K_t (dB): Parámetro indicativo de componentes tonales emergentes

K_f (dB): Parámetro indicativo de componentes de baja frecuencia

K_i (dB): Parámetro indicativo de componentes impulsivas

L_{Keq} (dB): Índice de ruido continuo equivalente corregido

L_t (dB): Diferencia entre el nivel de presión sonora que contiene el tono emergente y la media de los niveles superior e inferior

L_p (dB): Nivel de presión sonora que contiene el tono emergente

L_s (dB): Media aritmética de los niveles de presión sonora superior e inferior al nivel que contiene el tono emergente

L_f (dB): Diferencia entre el nivel de presión sonora equivalente con ponderación C y el nivel de presión sonora equivalente con ponderación A

L_i (dB): Diferencia entre el nivel de presión sonora equivalente con ponderación A y constante temporal de impulso y el nivel de presión sonora equivalente con ponderación A

D (dB): Aislamiento acústico bruto

D_{nT} (dB): Diferencia de niveles de aislamiento estandarizada

D_{nT,A} (dB): Diferencia de niveles de aislamiento estandarizada ponderada A

TR₀ (s): Tiempo de reverberación de referencia de 0.5s

L_{Ar,i} (dB): Espectro normalizado de ruido rosa

V (m³): Volumen del recinto

St (m²): Superficie total

S_c (m²): Superficie del techo

S_w (m²): Superficie de pared

A_{eq,f,unit} (m² sabine/ud): Área equivalente de absorción por unidad

A_{necesaria} (m²): Área necesaria de material absorbente

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias a mi tutora Sandra Velarde por la ayuda prestada y atención a lo largo de este Trabajo Fin de Máster.

A mis padres y a Elisa y Guillermo, mis hermanos, por apoyarme y animarme a seguir avanzando. Darle las gracias también a David, por su infinita paciencia, por sus consejos y por su apoyo.

REFERENCIAS

- [1] Martínez, A; Castro, E; Prior, J; Martínez-Conesa, E.J. (2016). *Evaluación de la calidad acústica de un aula problemática en la Universidad Politécnica de Cartagena*. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena (Murcia).
- [2] González Rivera, C. (2010). *Acondicionamiento acústico de salas de clases Colegio Emprender Osorno*. Tesis doctoral. Universidad Austral de Chile. Chile.



- [3] Código Técnico de Edificación. Documento Básico HR. Protección frente al Ruido. (2019)
- [4] Singer, M.J. (2003). *Acoustics in Schools*. Fairleigh Dickinson University.
- [5] Mihai, T; Iordache, V. (2015). *Determining the indoor environment quality for an educational building*. Sustainable Solutions for Energy and Environment. Bucarest (Rumanía).
- [6] Artés Hernández, V. (2017). *Evaluación de la calidad acústica de espacios docentes de la UPCT*. Trabajo Fin de Máster. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena.
- [7] BOE. Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas*.
- [8] AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN-ISO 3382-2:2008. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios*.
- [9] AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN-ISO 16283-1:2015: Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo*.
- [10] Sánchez, L. (2016). *Estudio de la calidad acústica en varias dependencias del campus de Gijón: Evaluación y propuestas de medidas de acondicionamiento*. Trabajo fin de grado. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón.
- [11] Solís, I. (2013). *Estudio de la calidad acústica en varias dependencias del campus de Gijón: Evaluación y propuestas de medidas de acondicionamiento*. Trabajo fin de máster. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón.
- [12] Noval, C; Rodríguez, P; Díaz, A. (2019) *Práctica de laboratorio Contaminación por Ruido*.
- [13] BOE. Boletín Oficial del Estado. *Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido*.
- [14] BOE. Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico <<DB-HR Protección frente al ruido>> del Código Técnico de la Edificación*.
- [15] BOE. Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas*.
- [16] BOE. Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental*.
- [17] Ordenanza Municipal del ruido del Ayuntamiento de Gijón (2006).
- [18] AECOR. Asociación Española para la Calidad Acústica. (2017). *Guía y procedimiento de medida del ruido de Actividades en el Interior de Edificios*.
- [19] AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 61672-1:2014 Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones*
- [20] AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 61672-2:2014 Electroacústica. Sonómetros. Parte 2: Ensayos de evaluación de modelo*.
- [21] Cantor Cultiva, L.C; Muñoz Sánchez, A.I. (2009). *Condiciones acústicas de las aulas universitarias en una universidad pública de Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia).
- [22] Paneles y materiales acústicos: www.skumacoustics.com (junio 2020)
- [23] Acústica integral: <https://www.acusticaintegral.com/> (junio 2020)
- [24] Techos acústicos y murales absorbentes: <https://www.rockfon.es/> (junio 2020)
- [25] Acústica internacional: www.internationalacoustic.com (junio 2020)
- [26] Architonic: www.architonic.com (junio 2020)
- [27] Paneles acústicos decustik: www.decustik.com (junio 2020)