



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN

ESTUDIO DE ACÚSTICA EN EL AULA 1 (Tribunal), EDIFICIO NUEVO DE E.T.S.I.E

PROYECTO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería de Edificación

Alumno:

FAGGIANI MARTINEZ, ALESSANDRO

Directores del PFG:

GÓMEZ LOZANO, VICENTE

REIG GARCIA SAN PEDRO, SALVADORA

Modalidad:

CIENTÍFICO TÉCNICO.

Fecha presentación:

8 de Marzo de 2012

VALENCIA



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN
2	RESEÑA HISTÓRICA
3	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS PARÁMETROS ACÚSTICOS
3.1	Campo acústico
3.2	Campo sonoro
3.3	Definición del sonido
3.4	Frecuencia del sonido (f)
3.5	Clasificación de los sonidos
3.6	Banda de frecuencias
3.7	Velocidad de propagación del sonido (c)
3.8	Longitud de onda del sonido (λ)
3.9	Nivel de presión sonora (SPL)
3.10	Reflexión y Refracción
3.11	Eco y Reverberación
3.12	La inteligibilidad
3.13	Absorción del sonido en el medio físico
4	MATERIALES ACÚSTICOS
4.1	Materiales acústicos absorbentes
4.2	Materiales absorbentes porosos
4.3	Resonadores
5	EQUIPOS DE MEDICIÓN
5.1	Elementos emisores
5.2	Elementos receptores
6	LOCALIZACIÓN DE LA TOMA DE DATOS
7	NORMATIVA APLICADA
8	MEDICIÓN Y CÁLCULO DEL PROYECTO
9	ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN DE LOS RESULTADOS
10	ANEXOS
11	BIBLIOGRAFÍA

1 INTRODUCCIÓN

He elegido el taller de acústica para el proyecto fin de grado ya que me parece un tema interesante. En mi opinión, con la implantación del CTE DB-HR, la acústica ha sufrido un endurecimiento ante el cual es necesario tener un mayor conocimiento de las posibles soluciones acústicas en la edificación, con el fin de alcanzar un confort de la edificación, tanto para vivir como para trabajar o estudiar.

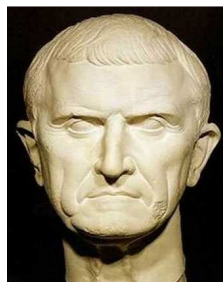
En mi situación como estudiante la idea de saber que cuando las aulas no tienen un tratamiento acústico adecuado para dicho uso, la inteligibilidad del discurso disminuye y por lo tanto se reducen los niveles de concentración y aprendizaje de los estudiantes. Esto puede que sea un punto fuerte a la hora de mi elección por este proyecto

Respecto a la salida profesional, puede que sea uno de los pocos campos profesionales con salida dentro de la edificación en estos momentos.

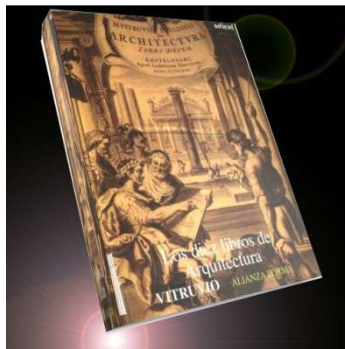
Mi proyecto se basa en el cumplimiento de la normativa Española CTE del diseño acústico aplicada al Aula 1 (tribunal) situado en el edificio 1C de la E.T.S.I.E. En el realizo un estudio en grupo donde analizaremos las cualidades acústicas de dicho recinto.

2 RESEÑA HISTÓRICA

El estudio científico de la acústica, particularmente la acústica de teatros se remonta a los teatros griegos como el de Epidauro. Hunt (1978 p9) sitúa los orígenes del estudio del sonido en Pitágoras (ca. 570-497 BC). Posteriormente serán los romanos los que desarrollarán un sistema más complejo de estudio de la acústica en los teatros al aire libre. La primera referencia escrita se la debemos como casi siempre al arquitecto romano Vitrubio en su obra *De Architectura Libro V, capítulo VII*.



Marco Vitrubio Polión. Arquitecto, escritor, ingeniero y tratadista romano del siglo I a. C. Autor del tratado sobre arquitectura más antiguo que se conserva, "De Architectura"



Edición del libro de Vitrubio por la Editorial Alianza Forma

El término moderno equivalente a los conceptos vitrubianos es como sigue:

- disonancia equivale a lo que hoy denominamos INTERFERENCIA.
- circumsonancia es REVERBERACIÓN.
- resonancia equivale a ECO
- consonancia es proceso por el cual un sonido se fortalece por efecto de la REFLEXIÓN

Desde estos tempranos inicios, los teatros griegos y posteriormente los romanos se

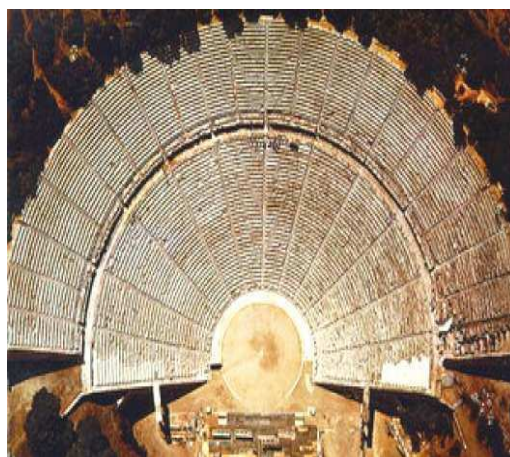
preocuparon de perfeccionar la proyección de las voces de los actores hacia la audiencia. Los actores utilizaban máscaras para incrementar la expresión facial y al mismo tiempo amplificar sus voces. La audiencia se mantenía próxima al escenario. Es seguro que la mayor parte de los teatros antiguos tenía una acústica bastante mediocre; solo algunos de ellos alcanzaron fama de gran perfección acústica. Prueba evidente que el problema de la distribución del sonido era objeto de estudio está en la técnica recomendada por Vitrubio para reforzar el sonido. Vitrubio propone en su obra el empleo de vasos de resonancia situados estratégicamente entre la audiencia. Esto puede considerarse una prueba de la falta de consonancia de los teatros antiguos en general.

El objetivo acústico fundamental que se trata de lograr al diseñar un espacio destinado a actividades teatrales es que el grado de comprensibilidad del mensaje oral sea óptima desde todos los puntos del auditorio. Al aire libre, el único sonido que se propaga desde la fuente hasta el receptor es el sonido directo. El nivel de presión sonora asociado al mismo disminuye 6 dB cada vez que se dobla la distancia a la fuente. La máxima distancia a la que se puede oír un mensaje oral emitido en una zona de máximo silencio (con ausencia total de viento, es de 42 m en la dirección frontal del orador, de 30 m lateralmente y de 17 m. en la dirección posterior. A distancias superiores el mensaje deja de ser inteligible, con independencia del lugar elegido para llevar a cabo la experiencia. La reducción tan significativa de la máxima distancia a medida que la dirección considerada se aleja de la dirección frontal se debe a las características direccionales de la voz humana.

En los teatros griegos se alcanzaban distancias sustancialmente superiores a las anteriormente mencionadas. En Epidauro el asiento más alejado del escenario se encontraba a 70 m y la inteligibilidad en ese punto es sorprendentemente buena. La explicación estriba en el hecho de que el teatro se hallaba ubicado en una zona con ruido ambiental extremadamente bajo y que además el sonido directo que llegaba a cada punto se veía reforzado por la existencia de primeras reflexiones (retardo máximo de 50 ms respecto a la llegada del sonido directo). Tales reflexiones se generaban en la plataforma circular altamente reflectante situada entre el escenario y las gradas, denominada orchestra.

La existencia de una primera reflexión (consonancia) generada por una superficie totalmente reflectante produce un incremento de 3 dB en el nivel de presión sonora, ya que la energía sonora se dobla. Ello da lugar a un factor de aumento neto de la distancia

límite de 1,4142. Por lo tanto, debido a dicha circunstancia, la distancia límite en la dirección frontal pasaría a ser del orden de 60 m ($1,4142 \times 42$ m). Si además tomamos en consideración la reflexión producida por la pared posterior del escenario y las máscaras utilizadas por los actores, que al parecer desempeñaban una función acústica al actuar como un megáfono por delante de la boca, justifican el hecho de alcanzar los 70 m de Epidauro. Y por tanto esa es la razón por la que tenía un aforo de 14.000 espectadores, una cifra muy superior a los teatros romanos posteriores. Para hacerse una idea, los mayores teatros actuales no suelen sobrepasar los 1.500 espectadores.



Teatro Epidauro, construido por Policleto el Joven en el año 330 a.C.

La forma típica de abanico de los teatros griegos abarcaba en este caso 210° . Implica que tanto la visibilidad como las condiciones acústicas en las zonas situadas a ambos extremos de la plataforma circular eran menos favorables que en las zonas restantes. Esas localidades se reservaban para los extranjeros, para los espectadores que llegaban tarde a la representación y para las mujeres.

Otra característica de los teatros griegos era la fuerte pendiente de sus gradas, normalmente entre 20° y 34° . Estos elevados valores eran beneficiosos para lograr buenas visuales desde todos los puntos de las gradas y para obtener mayores ángulos de incidencia de los sonidos directos y reflejado. En concreto el teatro de Epidauro disponía del círculo interior con una pendiente de $26,2^\circ$, el anillo exterior de $26,5^\circ$, mientras que el ángulo formado por el plano de las gradas y las diversas reflexiones sobre la plataforma circular eran siempre mayores que 5° . Eso se conseguía debido a que la altura del escenario no superaba los 3,50 m.

Los teatros romanos diferían de los teatros griegos también en su comportamiento

acústico. Por detrás del escenario existía una pared muy elevada repleta de elementos decorativos muy elaborados, denominada scaenae frons. La zona denominada orchestra tenía una forma semicircular, al igual que las gradas del público, y estaba ocupada generalmente por los senadores. Este hecho exigía que la altura del escenario fuera menor a la de los teatros griegos a fin de conseguir que la visión desde dicha zona fuera correcta y además impedía que actuase como superficie generadora de primeras reflexiones hacia los espectadores debido a la absorción acústica propia de los senadores. Dicha altura era del orden de 1,50 m.

Por eso con objeto de mantener unas condiciones de óptima inteligibilidad en todos los puntos, resultaba imprescindible reducir las dimensiones en relación con los teatros griegos, y al mismo tiempo garantizar la existencia de una elevada pendiente de las gradas de entre 30° y 34°. Si escogemos un teatro magnífico característico de la época romana como el teatro de Aspendos, observamos que su capacidad es de 6.000 espectadores y la distancia entre el escenario y el asiento más alejado es de 53 m, mucho más bajo que en Epidauro.

Los teatros romanos disponían de otro elemento acústicamente activo. El velarium era una lona que protegía a los espectadores del fuerte soleamiento. Si bien este material es medianamente reflectante, se puede considerar que su presencia no daba lugar a la reverberación. Si la lona hubiera cubierto la totalidad del teatro, la reverberación (circumsonancia) habría sido tan elevada que habría impedido su uso como teatro debido a la pérdida de inteligibilidad.



Teatro Romano, Sagunto. Del siglo I, seguramente entre los emperadores Augusto y Tiberio.

A medida que el ruido general de los mercados que rodeaban los teatros crecía, se fue haciendo necesaria la protección mediante pantallas acústicas del teatro. Es evidente que la construcción de muros y edificios tras el escenario no obedecía exclusivamente a necesidades acústicas y sí también a necesidades funcionales de la propia representación llegando a incorporar un gran número de habitaciones y elementos. Pero es verdad que esas edificaciones se fueron modificando para favorecer la distribución del sonido, actuando los muros de los edificios como reflectoras para reforzar el sonido directo que emanaba directamente de los actores.

Bibliografía

- *Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Antonio Carrión Isbert. Ediciones UPC. 1998*
- <http://blanzher.wordpress.com/>
- <http://wikipedia.com>

3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS PARÁMETROS ACÚSTICOS

3.1 Campo acústico

Variación en un medio mecánico (aire) de ciertas magnitudes físicas (desplazamientos, velocidad, presión, densidad...)

- Presión acústica: Incrementos de presión respecto a la presión atmosférica

$$P_0 = 10^5 Pa$$

- Potencia (W): Energía emitida por la fuente acústica por unidad de tiempo

$$\text{Nivel de Potencia} \quad LW = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad \Leftarrow \quad W_0 = 10^{-12} W$$

- Intensidad (W/m²): Energía transmitida por unidad de superficie y tiempo

$$I = p \cdot \vec{v}$$

$$\text{Nivel de Intensidad} \quad LI = 10 \log \frac{|I|}{I_0} \quad \Leftarrow \quad I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

3.2 Campo sonoro

Se define en **campo sonoro** como el valor del nivel de presión sonora en cada punto del recinto. Presenta dos componentes:

- **Campo directo**: zona en la que se percibe el sonido directamente desde la fuente sin ser reflejado por ninguna superficie del recinto. El nivel de presión sonora disminuye del orden de 6 dB cada vez que se duplica la distancia a la fuente.
- **Campo reverberante**: zona en la que se percibe el sonido tras sufrir múltiples reflexiones que se superponen entre sí dando lugar a nivel de presión sonora prácticamente constante en todos los puntos.

Según predomine el campo sonoro directo sobre el reverberante se favorecerá la inteligibilidad cuando exista más de una fuente sonora en el recinto emitiendo de forma

simultánea. Un claro ejemplo son los restaurantes en los que acaba siendo imposible entender a las personas que tenemos cerca cuando existen varias personas hablando a la vez, en este caso predomina el campo reverberante sobre el directo.

Se define el concepto de **distancia crítica (dc)** como la distancia a partir de la cual predomina el campo sonoro reverberante sobre el campo directo.

La distancia crítica puede controlarse mediante el **acondicionamiento acústico** de las salas mediante el tratamiento mediante materiales absorbentes.

3.3 Definición del sonido

El sonido se puede definir de formas muy diversas. De todas ellas, las más habituales son las siguientes:

- Vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire), y que es capaz de producir una sensación auditiva. De dicha definición se desprende que, a diferencia de la luz, el sonido no se propaga a través del vacío y, además, se asocia con el concepto de estímulo físico.
- Sensación auditiva producida por una vibración de carácter mecánico que se propaga a través de un medio elástico y denso.

3.3.1 El tono

El tono es la cualidad mediante la cual el oído distingue entre un sonido grave y uno agudo. La magnitud física asociada es la frecuencia: los sonidos graves corresponden a frecuencias bajas, mientras que los agudos son debidos a frecuencias altas.

3.3.2 La intensidad

La intensidad diferencia entre sonidos fuertes o débiles. En realidad, cuando hablamos de sonidos fuertes o débiles, nos estamos refiriendo a la sensación de intensidad, la sonoridad o el nivel sonoro. Esta característica está relacionada con la amplitud

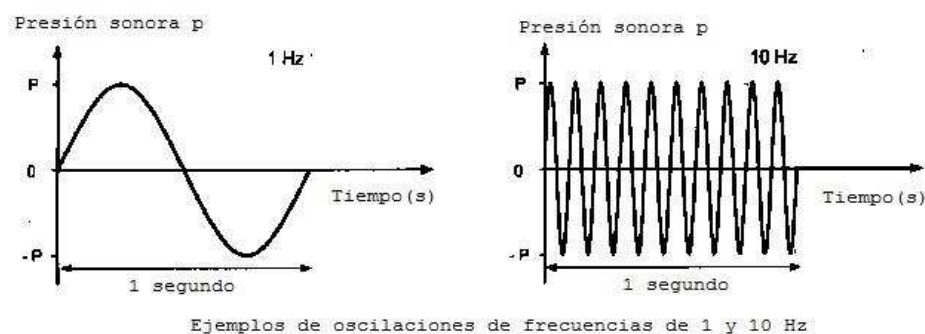
(intensidad acústica, o presión acústica) y la frecuencia: es proporcional al cuadrado de su frecuencia y al cuadrado de su amplitud, y disminuye al aumentar la distancia al foco.

Si la presión acústica está por debajo de $2 \cdot 10^{-4}$ bar, está por debajo del Umbral Auditivo, y el oído humano no lo oye. Por el contrario, una presión superior a 103 bar puede causar lesiones irreversibles, pues está por encima del Umbral Doloroso. La ley de Weber-Fechner dice: "Nuestras impresiones sonoras varían según una progresión aritmética, cuando las excitaciones físicas que las causan varían según una progresión geométrica". Según esta afirmación, la forma de establecer la medida del nivel sonoro producido por una presión acústica P , se realiza mediante la fórmula:

3.4 Frecuencia del sonido (f)

El número de oscilaciones por segundo de la presión sonora p se denomina frecuencia (f) del sonido y se mide en hertzios (Hz) o ciclos por segundo (c/s). Lógicamente, la frecuencia del sonido coincide con la frecuencia de la vibración mecánica que lo ha generado.

En la siguiente imagen observamos dos ejemplos de presión sonora p asociada a oscilaciones de diferente frecuencia.



3.5 Clasificación de los sonidos

Los sonidos se dividen en deterministas y aleatorios. Los primeros se pueden representar siempre mediante una expresión matemática que indica la forma en que varía la

correspondiente presión sonora en función del tiempo. Los segundos, en cambio, van asociados a vibraciones irregulares que nunca se repiten exactamente y que, por tanto, solamente se pueden describir mediante parámetros estadísticos.

3.6 Banda de frecuencias

Las notas inferior y superior de un piano de 88 teclas tienen unas frecuencias fundamentales de 27,5 Hz y 4.400 Hz, respectivamente. La primera corresponde a un sonido muy grave, mientras que la segunda va asociada a uno muy agudo. Por consiguiente, un sonido grave está caracterizado por una frecuencia baja, en tanto que uno agudo lo está por una frecuencia alta. El conjunto de frecuencias situado entre ambos extremos se denomina banda o margen de frecuencias del piano. Dicha definición es válida para cualquier fuente sonora.

En el caso de la audición humana, la banda de frecuencias audibles para una persona joven y sana se extiende, aproximadamente, de 20 Hz a 20.000 Hz (o bien 20 kHz). Las frecuencias inferiores a 20 Hz se llaman subsónicas y las superiores a 20 kHz ultrasónicas, dando lugar a los infrasonidos y ultrasonidos, respectivamente.

3.7 Velocidad de propagación del sonido (c)

La velocidad de propagación del sonido (c) es función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. Debido a que, en el aire, ambas magnitudes dependen de la presión atmosférica estática P_0 y de la temperatura, resulta que, considerando las condiciones normales de 1 atmósfera de presión y 22 °C de temperatura, la velocidad de propagación del sonido es de, aproximadamente, 345 m/s.

Si bien el aire constituye el medio habitual de propagación de las ondas sonoras, conviene tener presente que el sonido puede propagarse a través de cualquier otro medio elástico y denso. Cuanto más denso y menos elástico sea el medio, mayor será la velocidad del sonido a su través. Por ejemplo, la velocidad de propagación del sonido generado por un tren a través de los raíles es mucho mayor que a través del aire, por lo que la vibración del raíl se percibirá mucho antes que el sonido aéreo debido a dicho tren.

En la siguiente tabla se refleja la velocidad de sonidos en diferentes medios:

Medio	Temperatura (0 ° C)	Velocidad (mt / seg)
Aire	0	331,7
Aire	15	340
Oxígeno	0	317
Agua	15	1.450
Acero	20	5130
Caucho	0	54
Aluminio	0	5100

3.8 Longitud de onda del sonido (λ)

Una vez definidos los conceptos fundamentales de frecuencia y velocidad de propagación del sonido, es preciso definir otro concepto básico que guarda una estrecha relación con ambos:

La longitud de onda del sonido (λ).

Se define como la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que se hallan en el mismo estado de vibración en cualquier instante de tiempo. Por ejemplo, si en un instante dado se seleccionan dos puntos consecutivos del espacio donde los valores de presión son máximos, la longitud de onda es precisamente la distancia entre ambos puntos.

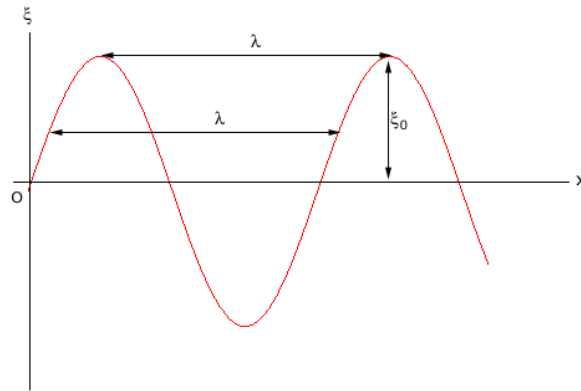
La relación entre las tres magnitudes: frecuencia (f), velocidad de propagación (c) y longitud de onda (λ), viene dada por la siguiente expresión:

$$\lambda = c/f$$

Según se observa, para cada frecuencia, la longitud de onda depende del medio de propagación, ya que es proporcional a la velocidad, y ésta varía para cada medio.

Por otro lado, se puede ver que la longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales, es decir, cuanto mayor es f menor es λ , y viceversa.

Por ejemplo, en el aire, las longitudes de onda correspondientes a la banda de frecuencias audibles se hallan situadas entre 17,25 m ($f = 20$ Hz) y 1,72 cm ($f = 20$ kHz).



3.9 Nivel de presión sonora (SPL)

Según se ha mencionado en el apartado 1.2, la presión sonora constituye la manera más habitual de expresar la magnitud de un campo sonoro. La unidad de medida es el Newton/metro² (N/m²) o Pascal (Pa).

En principio, el valor a considerar es la diferencia entre el valor fluctuante de la presión sonora total P_T y su valor de equilibrio P_0 . Debido a la variación de dicha magnitud con el tiempo, se utiliza como valor representativo su promedio temporal, que recibe el nombre de valor eficaz o r.m.s. ("root-mean-square").

Ahora bien, la utilización de dicho valor eficaz da lugar a una serie de problemas cuyo origen se halla en el comportamiento del oído humano y que a continuación se exponen:

- La gama de presiones a las que responde el oído, desde el valor umbral de audición hasta el que causa dolor, es extraordinariamente amplia. En concreto, la presión eficaz sonora más débil que puede ser detectada por una persona, a la frecuencia de 1 kHz, es de 2×10^{-5} Pa, mientras que el umbral de dolor tiene lugar para una presión eficaz del orden de 100 Pa (milésima parte de la presión atmosférica estática $P_0 \approx 105$ Pa, equivalente a 1 atmósfera). En consecuencia, la escala de presiones audibles cubre una gama dinámica de, aproximadamente, 1 a 5.000.000. Es obvio, pues, que la aplicación directa de una escala lineal conduciría al uso de números inmanejables.
- Nuestro sistema auditivo no responde linealmente a los estímulos que recibe, sino que más bien lo hace de forma logarítmica. Por ejemplo, si la presión de un tono puro

de 1 kHz se dobla, la sonoridad, o sensación subjetiva producida por el mismo, no llegará a ser el doble. De hecho, para obtener una sonoridad doble, es necesario multiplicar la presión sonora por un factor de 3,16.

Por los dos motivos expuestos, resulta razonable y conveniente hacer uso de una escala logarítmica para representar la presión sonora. Dicha escala se expresa en valores relativos a un valor de referencia. Se trata de la presión eficaz correspondiente al umbral de audición, a 1 kHz (2×10^{-5} Pa). En tal caso, se habla de nivel de presión sonora SPL o Lp. La unidad utilizada es el decibelio (dB).

La utilización del umbral de audición como referencia tiene como objetivo que todos los sonidos audibles sean representados por valores SPL positivos.

El uso de dB reduce la dinámica de presiones sonoras de $1:5 \times 10^6$ a niveles de presión sonora de 0 a 135 dB, donde 0 dB representa una presión igual al umbral de audición (no significa, por tanto, ausencia de sonido) y 135 dB el umbral aproximado de dolor. De esta manera, las cifras manejadas son mucho más simples y, además, se dan las siguientes relaciones entre cambios de nivel sonoro y su efecto subjetivo:

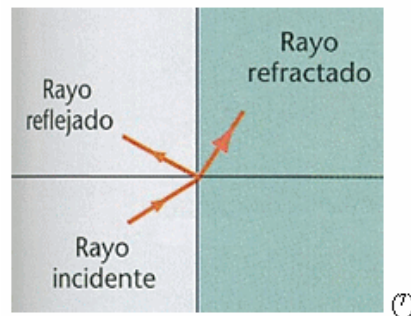
- 1 dB: mínimo cambio de nivel sonoro perceptible.
- 5 dB: cambio de nivel claramente percibido.
- 10 dB: incremento asociado a una sonoridad doble.

En la siguiente tabla se muestran los niveles de presión sonora correspondientes a una serie de sonidos y ruidos típicos, junto con la valoración subjetiva asociada.

FUENTE SONORA	NIVEL DE PRESIÓN SONORA SPL (dB)	VALORACIÓN SUBJETIVA DEL NIVEL
Despegue avión (a 60 m)	120	Muy elevado
Edificio en construcción	110	
Martillo neumático	100	
Camión pesado (a 15 m)	90	Elevado
Calle (ciudad)	80	
Interior automóvil	70	
Conversación normal (a 1 m)	60	Moderado
Oficina, aula	50	
Sala de estar	40	
Dormitorio (noche)	30	Bajo
Estudio de radiodifusión	20	

3.10 Reflexión y Refracción

El sonido avanza en línea recta cuando se desplaza en un medio de densidad uniforme. Sin embargo, igual que la luz, el sonido está sometido a la refracción, es decir, la desviación de las ondas de sonido de su trayectoria original. En tres dimensiones, una frontera entre dos regiones de diferente velocidad de onda es una superficie. Esta figura muestra un rayo incidente sobre una de estas superficies límites.

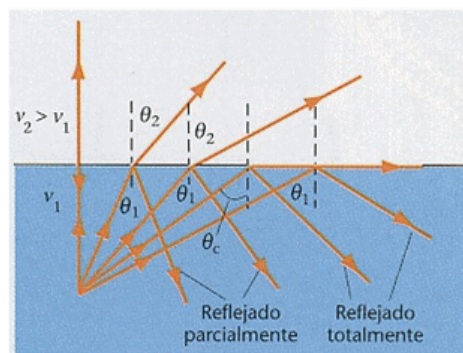


El rayo transmitido se desvía acercándose o alejándose de la normal, dependiendo de si la velocidad de onda en el segundo medio es menor o mayor que la que posee en el medio inicial. Cuando la velocidad de onda en el segundo medio es mayor, el rayo que describe la dirección de propagación se desvía alejándose de la normal

El rayo reflejado forma un ángulo con al normal a la superficie igual al que forma el rayo incidente.

Al incrementarse el ángulo de incidencia, crece también el ángulo de refracción, hasta que se alcanza un ángulo crítico de incidencia, para el cual el ángulo de refracción es de 90° .

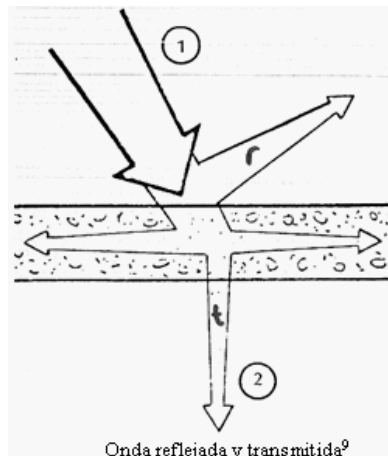
Para ángulos de incidencia superiores al valor crítico, desaparece el rayo refractado, fenómeno que se llama reflexión interna total.



Ángulos de reflexión-refracción.⁸

La cantidad de energía sonora reflejada por una superficie depende de la clase de superficie, el material del que esté hecha, etc....

En esta figura aparecen dos medios, 1 y 2, cuyas impedancias son, respectivamente, Z_1 y Z_2 . Consideramos una onda incidente i que va del medio 1 al medio 2. Al llegar al límite, parte de la energía sonora se refleja mediante una onda reflejada r , y otra parte se transmite al medio 2 mediante una onda transmitida t .



Se define:

- Factor o coeficiente de transmisión:

$$t = \frac{P_t}{P_i} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

- Factor o coeficiente de reflexión:

$$r = \frac{P_r}{P_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Esta última ecuación nos indica que cuanto mayor sea la diferencia entre Z_1 y Z_2 , la reflexión será mayor y, por tanto, existirá una elevada amortiguación del sonido.

Generalmente, en lugar del factor de reflexión "r", se emplea el grado de absorción, que se define como la fracción de energía de onda incidente que no es reflejada. La energía es proporcional al cuadrado de la presión sonora; entonces podemos escribir:

$$\alpha = 1 - r^2$$

3.11 ECO Y REVERBERACIÓN

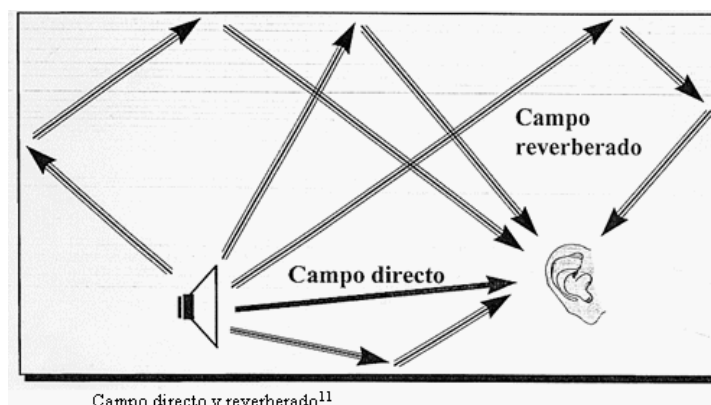
En el caso de las ondas sonoras, la reflexión en una pared explica el fenómeno del eco. Cuando la onda incidente y la reflejada impresionan el oído del mismo observador con intermitencia suficiente para la percepción de los dos sonidos, se produce este fenómeno. El intervalo de tiempo mínimo para que nuestro oído perciba dos sílabas distintamente es 0,1 segundos. Si consideramos la velocidad del sonido como de 340 m/s, el espacio que debe recorrer la onda en su ida y vuelta del oído al obstáculo es: $s = 0,1 \cdot 340 = 34 \text{ m}$

La distancia mínima entre el oído y la superficie reflectora debe ser alrededor de 17 m para que se produzca eco.

La reverberación es el fenómeno de sucesivas reflexiones del sonido en distintas superficies. Al emitir un sonido en un local, se refleja en las paredes, suelo, techo y en todos los obstáculos que impiden su libre propagación. Si los obstáculos son buenos reflectores del sonido, éste persiste un largo tiempo dando ocasión a que sean percibidos por el auditorio varios sonidos a la vez, alterándose, así, la belleza musical de un concierto o haciéndose ininteligible un orador.

El tiempo de reverberación es el que transcurre desde que deja de producirse es sonido hasta que deja de ser perceptible. No debe ser muy largo por los inconvenientes antes mencionados, pero tampoco muy corto, porque, por ejemplo, en una gran sala de conciertos, no se captaría el sonido en todos los puntos. El tiempo de reverberación óptimo es de 1 a 2 segundos.

La presión acústica que existe en un punto determinado de un recinto cerrado, después de haberse producido varias reflexiones del sonido, es la resultante de la presión del campo directo y el campo reverberado, como se indica en el dibujo:



Por tanto, el nivel de presión acústica en un punto depende mucho de la absorción acústica de las superficies que limitan el recinto.

Considerando una fuente de propagación omnidireccional, el nivel de presión sonora en un punto viene dado por la expresión:

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right);$$

siendo: $A = \sum \alpha_i \cdot S_i$

Donde:

L_p - nivel de presión en el punto considerado (dB)

L_w - potencia acústica de la fuente (dB)

r - distancia del punto considerado a la fuente (m)

A - absorción acústica debida al material (m²)

3.12 La inteligibilidad

Nos indica cómo afecta la sala a las palabras emitidas por un orador dentro de ella.

Existen diversos métodos para evaluarla, uno de los más utilizados es el método RASTI; que proporcionándonos un número comprendido entre 0 y 1, nos indicará la inteligibilidad del aula. Clasificamos los diferentes valores en:

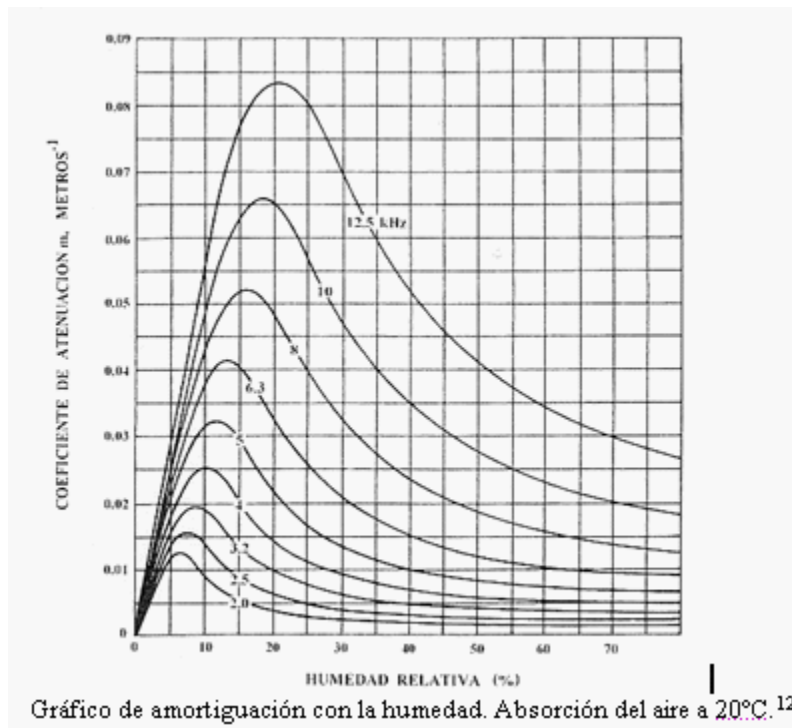
Inteligibilidad	Índice RASTI
<i>Muy Pobre</i>	0 a 0.3
<i>Pobre</i>	0.3 a 0.45
<i>Aceptable</i>	0.45 a 0.60
<i>Buena</i>	0.60 a 0.75
<i>Excelente</i>	0.75 a 1

Para aulas escolares se recomienda cómo mínimo una inteligibilidad **Buena**.

3.13 ABSORCIÓN DEL SONIDO EN EL MEDIO FÍSICO

La propagación del sonido no se realiza nunca sin pérdidas, sino que está supeditada siempre a una mayor o menor amortiguación; es decir, la presión o la velocidad disminuyen al aumentar la distancia al foco sonoro. Parte de la energía se convierte en calor cuando viaja a través del medio (hablaré del aire por ser el más habitual). Existen diferentes causas que dependen de la humedad relativa del medio, la frecuencia y, en menor medida, la temperatura.

Los sonidos de alta frecuencia son amortiguados en mayor medida que los de baja frecuencia. En este gráfico podemos ver cómo influye la humedad relativa en la amortiguación, para diferentes frecuencias. El máximo de amortiguación se obtiene para un aire muy seco.



El coeficiente de absorción m de la energía acústica en el aire se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$m = 8,94 \cdot 10^4 \left(\frac{f^2}{\rho c^3} \right) (\text{m}^{-1})$$

donde:

f - frecuencia de la onda

p - densidad del aire

c - velocidad del sonido en el aire

Por tanto, la absorción del aire viene dada por:

$$A_{\text{aire}} = 4 \cdot m \cdot V \quad (\text{m}^2)$$

donde:

m - coeficiente de absorción por metro (m-1)

V - volumen del recinto (m³)

Si consideramos una fuente de sonido omnidireccional en espacio libre, a medida que nos alejamos de la misma se produce una disminución de la presión sonora inversamente proporcional a la distancia.

La expresión general del nivel de presión sonora a una distancia r de la fuente es:

$$L_p = L_w - 10 \cdot \log 4\pi \cdot r^2$$

donde:

L_p - nivel de presión acústica a distancia de la fuente (dB)

L_w - potencia acústica de la fuente (dB)

r - distancia de la fuente (m)

Bibliografía

- *Acústica arquitectónica y urbanística. J. Linares, A. LLopis, J. Sancho. Universidad Politécnica de Valencia.*
- <http://www.uco.es>
- <http://www.upv.es>
- <http://fisicaytecnologia.wikispaces.com>

4 MATERIALES ACÚSTICOS

4.1 Materiales acústicos absorbentes

Para el acondicionamiento acústico en edificación, podemos decir que se emplean en la mayoría de los casos, los siguientes materiales o sistemas absorbentes:

- **Materiales absorbentes porosos**, cuyo mecanismo de absorción radica en transformar la energía acústica, principalmente, en energía calorífica por medio de procesos de fricción interna.
- **Resonadores**, empleados para absorber selectivamente determinadas frecuencias del sonido (principalmente las bajas frecuencias) mediante la transformación de 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).
- La instalación de un material poroso en los resonadores da lugar a un sistema absorbente mixto.

4.2 Materiales absorbentes porosos

4.2.1 Materiales porosos

Son de estructura granular o fibrosa, siendo importante el espesor de la capa y la distancia de esta a la pared. El espesor del material se elige de acuerdo con el valor del coeficiente de absorción empleado, ya que si es demasiado delgado, se reduce el coeficiente de absorción a bajas frecuencias, mientras que si es muy grueso resulta muy caro.

En la práctica, el empleo de materiales fibrosos absorbentes se asocia a varias cubiertas perforadas que pueden ser de madera contrachapada, cartón, yeso...

Suelen presentarse en forma de paneles y tableros acústicos de fácil adaptación e instalación, tanto en nuevas construcciones como en edificios ya existentes. La mayoría de estos materiales pueden colocarse como un techo suspendido por medio de elementos metálicos, debiendo cuidarse el problema de la humedad, que puedan originar la reflexión

de los materiales.

Estos sistemas permiten la combinación de techos absorbentes, con la iluminación y el aire acondicionado en cualquier disposición deseada.

En un panel acústico, el incremento de su espesor aumenta la absorción principalmente a las frecuencias de 250, 500 y 1000Hz, con un efecto prácticamente despreciable fuera de este rango.

Si se monta este material dejando un espacio de aire entre el mismo y la pared, aumenta la absorción a 250Hz y algo a 125Hz. Existe también una disminución característica de absorción a 500Hz en todos los montajes con espacio de aire, pero no existe o es muy pequeño el cambio a frecuencias más altas. La mayoría de los materiales presentan cambios insignificantes en la absorción a medida que el espacio de aire se incrementa de 20 a 40 cm.

La mayoría de los paneles acústicos empleados para acondicionamiento acústico tienen una alta reflectancia lumínica del orden de 0,7 a 0,8. Para mantener la reflectancia lumínica próxima a su valor inicial se puede hacer mediante lavado normalizado o repintado, tan frecuentemente como sea necesario, sin dar las características de absorción del material consultando al fabricante con respecto a las pinturas recomendadas y las técnicas de aplicación. Algunos materiales se suministran con acabados de pintura lavables aplicados en fábrica, otros materiales se presentan con una membrana decorativa superficial, por lo que son más fáciles de mantenimiento. Las losetas acústicas se pintan con pinturas que no cubren los poros, como pueden ser soluciones de agua coloreadas.



4.2.2 Materiales para argamasa

Son materiales acústicos que se aplican en estado húmedo con paleta o pistola para formar superficies continuas de un espesor deseado. Estos materiales están compuestos de una mezcla de ingredientes secos, a los cuales se les añade un aglutinante líquido.

Los morteros acústicos se aplican normalmente a una capa de cemento o sobre cualquier otro material. La aplicación puede ser en dos o más capas, empleando métodos normales de fracasado, aunque se está utilizando cada vez más el método a pistola.

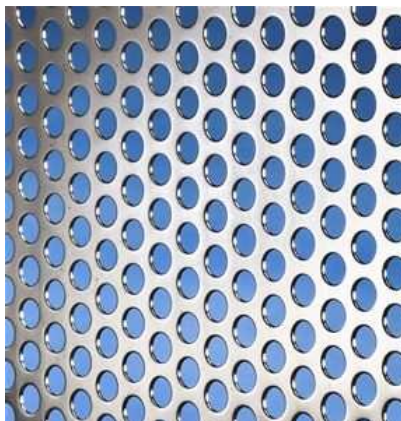
4.2.3 Sistemas de paneles metálicos perforados

Son aluminio o acero perforado, con un relleno de fibra mineral, siendo este relleno el elemento absorbente del sonido, de unos 3cm de espesor, con un sistema ignífugo.

El relleno se coloca en el panel durante la instalación y se mantiene separado del mismo con una rejilla, con el fin de facilitar las operaciones de limpieza conservando su absorción acústica.

El acabado de estos materiales es en esmaltes de alta calidad, que facilitan un lavado frecuente. Su aplicación más general es como techos acústicos suspendidos, por su facilidad de montaje y de coordinación con los sistemas aire/luz.

Todos estos materiales tienen un alto rendimiento como absorbentes acústicos variando sus valores en función de la forma de perforación, de la densidad y espesor del elemento absorbente, así como el espacio de aire existente detrás de él.

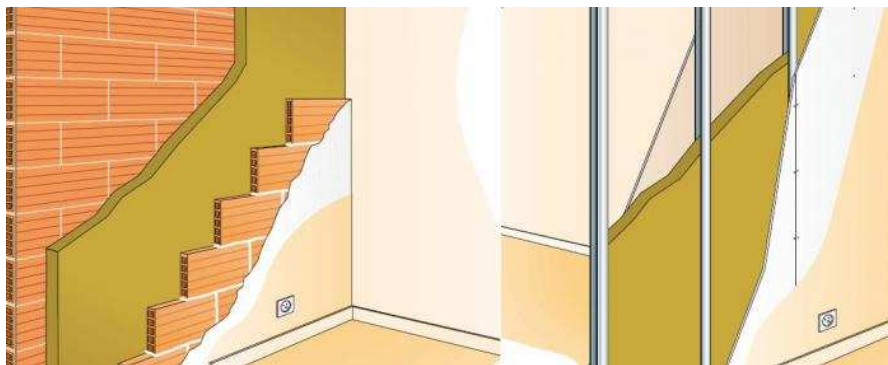


4.2.4 Sistemas de paneles rígidos

Tienen ventajas artísticas y de construcción frente a los materiales porosos, como son resistencias a los golpes, duración, posibilidad de pintado, barnizado...

La absorción de cada elemento del sistema se determina mediante los datos de construcción, tales como tipo de material, dimensiones del sistema, distancia a la que está colocada de la pared, forma de ensamblaje, debiendo prestar gran atención, ya que todo ello repercute en los parámetros acústicos del sistema.

Los sistemas de paneles rígidos se suelen emplear para corregir la absorción a bajas frecuencias creando un campo sonoro más difuso.

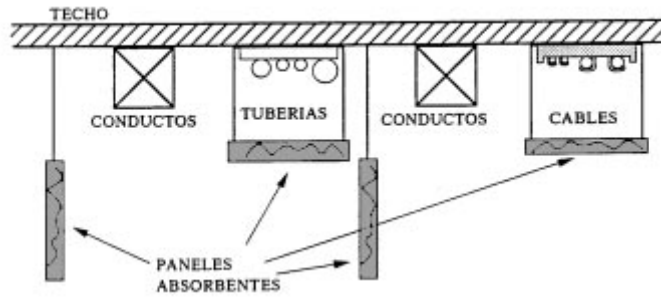


4.2.5 Absorbentes suspendidos

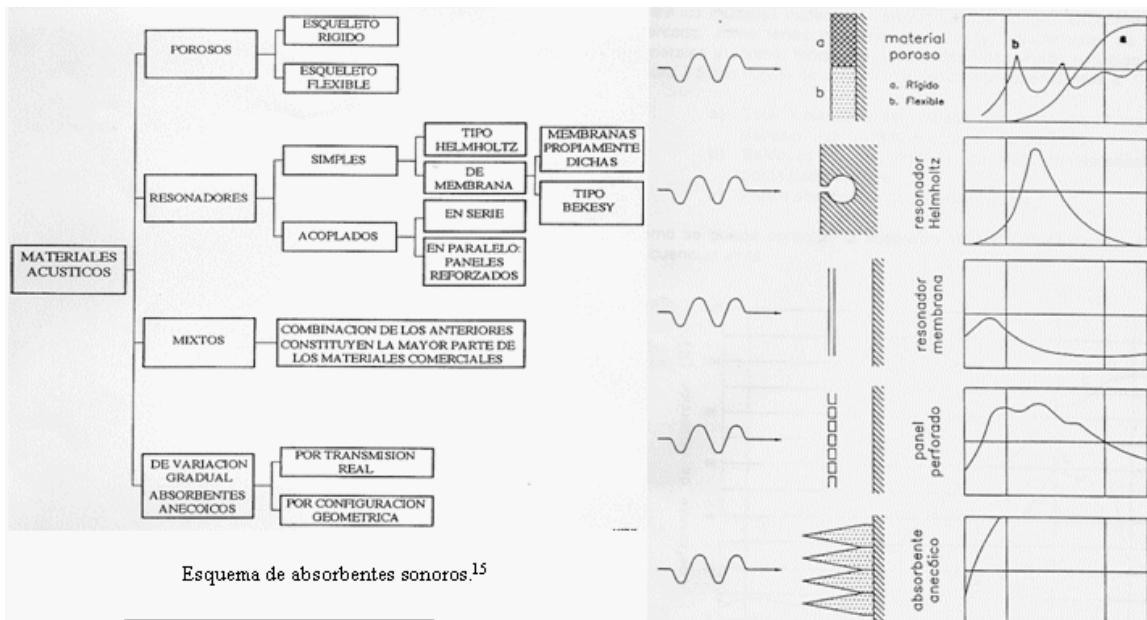
Se utiliza en algunos recintos, en los que existen pocas superficies susceptibles de colocar materiales absorbentes acústicos. En este caso se suelen emplear unidades de materiales suspendidos libremente en el recinto a cierta distancia de sus superficies límites.

Normalmente toman la forma de láminas planas o pantallas de material absorbente colgadas verticalmente en hileras continuas. La absorción de estos sistemas se calcula normalmente en función de la absorción de cada uno, por el número de unidades. Este valor aumenta con la separación entre los absorbentes y se aproxima a un valor constante con grandes separaciones.

Los elementos suspendidos en hileras continuas de hilos de acero o cables tendidos entre paredes o vigas del techo. La separación puede variar desde 0,6 a 1,8 m y las hileras pueden correr en una o dos direcciones.

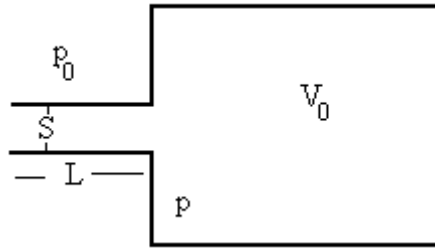


Se consideran absorbentes sonoros aquellos materiales o sistemas que disponen de elevados coeficientes de absorción sonora en todo o parte del espectro de frecuencias audibles. Se pueden clasificar según el siguiente esquema:

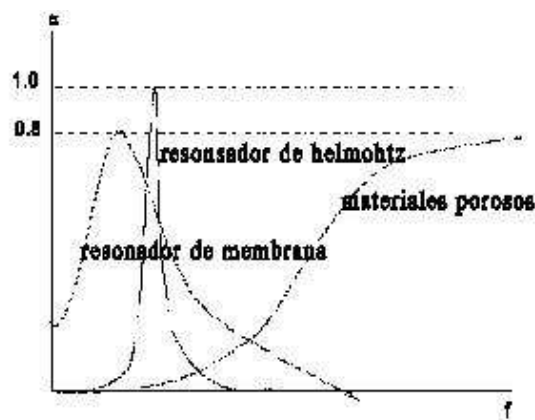


4.3 Resonadores

Constituidos por una cavidad que se comunica con el exterior mediante un conducto. La masa de aire contenida en el tubo junto con la cavidad, constituyen un filtro “rechazabanda” que produce la absorción de una frecuencia concreta. Cuanto más largo es el tubo y más grande la cavidad, más baja es la frecuencia que se absorbe. Un ejemplo típico es una simple botella.



El efecto absorbente de los resonadores es bastante selectivo. Se puede disminuir esta selectividad instalando un material poroso absorbente entre las placas perforadas y el cerramiento.



Por regla general, los materiales absorbentes de espesor estándar colocados sobre una pared rígida presentan una pobre absorción a bajas frecuencias. Al separarlos de la pared, se produce una notable mejora de la absorción a dichas frecuencias.

De todas formas, si se pretende obtener una gran absorción a frecuencias bajas con objeto de reducir sustancialmente los valores del tiempo de reverberación, es preciso hacer uso de absorbentes selectivos o resonadores.

Se trata de elementos que presentan una curva de absorción con un valor máximo a una determinada frecuencia. Dicha frecuencia recibe el nombre de frecuencia de resonancia, y depende de las características tanto físicas como geométricas del resonador.

Generalmente, está situado por debajo de los 500 Hz.

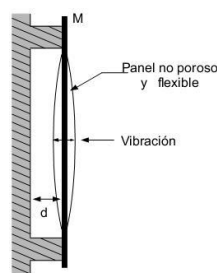
Los resonadores pueden utilizarse de forma independiente, o bien, como complemento a los materiales absorbentes.

Básicamente, existen los siguientes tipos de resonadores:

4.3.1 Resonador de membrana o diafragmático.

Está formado por un panel de un material no poroso y flexible, como por ejemplo la madera, montado a una cierta distancia de una pared rígida con objeto de dejar una cavidad cerrada de aire entre ambas superficies.

Cuando una onda sonora incide sobre el panel, éste entra en vibración como respuesta a la excitación producida. Dicha vibración, cuya amplitud depende principalmente de la frecuencia del sonido y es máxima a la frecuencia de resonancia, provoca una cierta deformación del material y la consiguiente pérdida de una parte de la energía sonora incidente, que se disipa en forma de calor. Por otro lado, aunque el panel también produce una pequeña radiación, a efectos prácticos resulta ser totalmente inaudible.

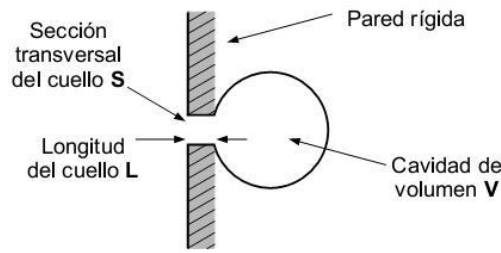


Esquema básico de un resonador de membrana o diafragmático

4.3.2 Resonador simple de cavidad (Helmholtz).

Está formado por una cavidad cerrada de aire conectada a la sala a través de una abertura o cuello estrecho.

El aire del cuello se mueve como una unidad, y constituye el elemento de masa, mientras que el aire de la cavidad se comporta como un muelle, constituyendo el elemento de rigidez. De forma análoga al resonador de membrana, la masa del aire del cuello junto con la rigidez del aire de la cavidad da lugar a un sistema resonante que presenta un pico de absorción a la frecuencia de resonancia.



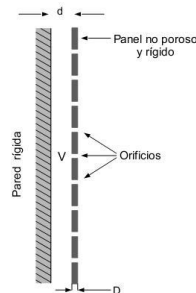
Esquema básico de un resonador simple de cavidad (Helmholtz) montado en una pared

4.3.3 Resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de paneles perforados o ranurados.

Está formado por un panel de un material no poroso y rígido de espesor D , en el que se han practicado una serie de perforaciones circulares o ranuras, montado a una cierta distancia " d " de una pared rígida, a fin de dejar una cavidad cerrada de aire entre ambas superficies.

El resonador múltiple de cavidad puede ser considerado de cualquiera de las siguientes maneras:

- Como un resonador de membrana en el que la masa del panel ha sido sustituida por la masa del aire contenido en cada perforación o ranura. En este caso, es precisamente dicho aire, y no el panel, el que entra en vibración cuando una onda sonora incide sobre el elemento.
- Como un conjunto de resonadores simples de Helmholtz que comparten una misma cavidad. Dicha cavidad actúa a modo de elemento acoplador entre los diferentes orificios practicados.

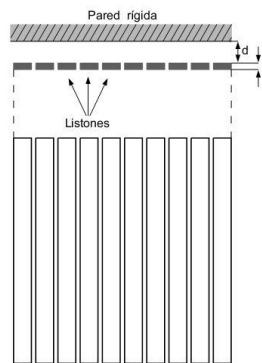


Esquema básico de un resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de paneles perforados o ranurados

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

Está formado por un conjunto de listones de espesor D equiespaciados y montados a una cierta distancia " d " de una pared rígida con objeto de dejar interpuesta una cavidad cerrada de aire.

Este tipo de resonador es parecido al resonador múltiple a base de paneles, con la diferencia de que, en este caso, la masa que se debe considerar es la del aire contenido en los espacios intermedios entre listones.



Resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de listones

Bibliografía

- *Guía acústica de la construcción*. F. Javier Rodríguez y Javier de la Puente. Editorial Dossat
- *Libro de Diseño Acústico de espacios Arquitectónicos*. Antoni Carrión.
- <http://fisicaytecnologia.wikispces.com>
- <http://www.lpi.tel.uva.es>

5 EQUIPOS DE MEDICIÓN

5.1 Elemento emisor

5.1.1 Amplificador de guitarra.



Situado dentro del recinto a estudiar y utilizado para medir tiempos de reverberación.

5.1.2 Altavoz de gran potencia.



Situado en las zonas correctas para realizar su función como emisor de sonido para las mediciones. Emite ruido aéreo

5.1.3 Equipo de impacto



Máquina normalizada de impactos. Emite ruido de impacto.

5.2 Elementos receptores

5.2.1 Sonómetro integrador con filtros de octava incorporados



Aparato con el que mediremos las frecuencias de sonido emitidas por el emisor, situado durante las mediciones en puntos concretos ya estudiados previamente para su mayor rendimiento.

5.2.2 Micrófono de condensador de 1/2 pulgada



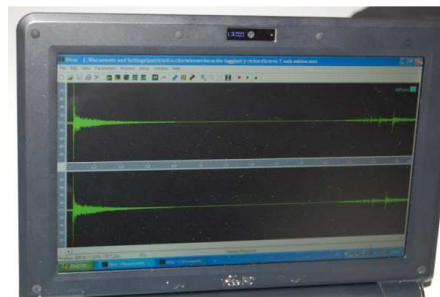
Es un micrófono de presión prepolarized con un rango dinámico grande y una respuesta de frecuencia amplia.

5.2.3 Calibrador acústico. 94 dB a 1000 Hz



Nos permite calibrar el micrófono después de ciertas mediciones para su mayor exactitud en las mediciones.

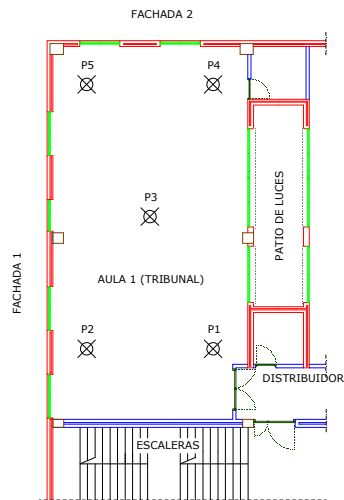
5.2.4 Ordenador Portátil con programa Dirac



Ordenador portátil con programa especial instalado que nos permite una vez conectado con micrófono adaptado calcular el tiempo de reverberación.

6 LOCALIZACIÓN DE LA TOMA DE DATOS

- TOMA DE DATOS EN AULA SIN EMISOR

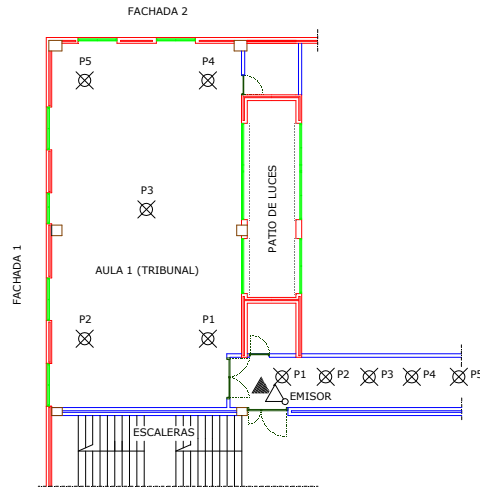


Con el sonómetro integrador con filtros de octava incorporados, realizaremos la toma de datos en el aula, desde cinco puntos distintos, sin emitir ruido.



Esta será la primera medición que realizaremos, no usaremos el altavoz como emisor de modo que los datos nos de los resultados del aula en silencio. En este caso pueden existir ruidos del exterior que podrían afectar a la medición, como puede ser el ruido de un coche, moto, etc. En ese caso no tendríamos que volver a realizar la medición, se podría apreciar en las graficas y es ahí donde se hará la corrección.

- TOMA DE DATOS EN AULA Y EN EL PASILLO, CON EMISOR



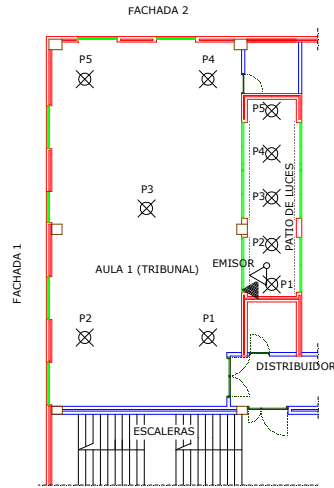
En los mismos puntos donde hemos realizado la toma de datos anterior, volvemos a realizar otra medición, esta vez con el emisor, un altavoz de gran potencia, situado en el distribuidor, fuera del aula.



Con el emisor en el mismo lugar, realizaremos la toma de datos en cinco puntos distintos del distribuidor, tal y como se puede apreciar en el plano anterior.

El emisor estará colocado de forma que emita el sonido en dirección al aula, los puntos donde habremos recibido la información estarán siempre detrás de este.

- TOMA DE DATOS EN AULA Y EN EL PATIO DE LUCES, CON EMISOR

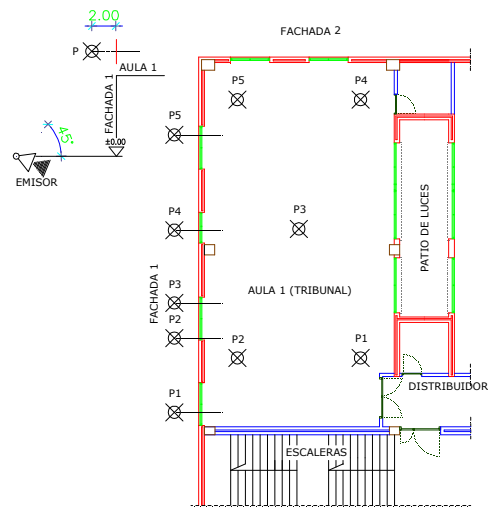


Volveremos a realizar la medición en los cinco puntos elegidos dentro del aula, esta vez, con el emisor situado en el patio de luces con una orientación de 45° frente a nuestra fachada.

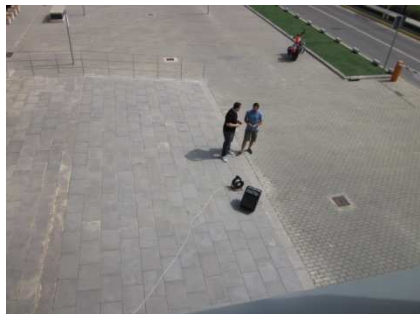


Con el emisor en el patio de luces, también cogeremos datos desde cinco puntos distintos en el mismo patio de luces. Estos puntos estarán en línea recta, ya que las dimensiones del patio no nos permiten otra organización.

- TOMA DE DATOS EN AULA Y EN FACHADA 1, CON EMISOR

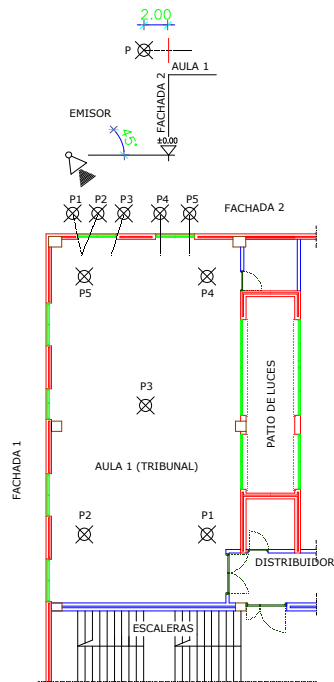


En esta medición el emisor estará en la calle, lo colocaremos frente a la fachada 1 y con un giro de 45° en horizontal y también una inclinación de 45° en vertical.

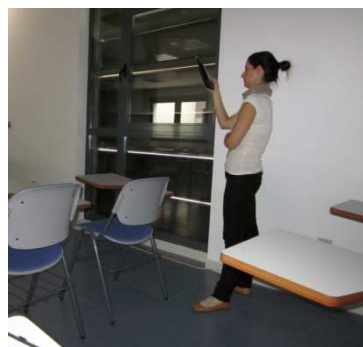


Aquí se realizan tres fases de toma de datos. Dos tomas de datos con los micrófonos en el interior del aula, una de ellas con las lamas de fachada abiertas y otra con las lamas cerradas. Una toma sacando los micrófonos por las ventanas, los cuales deberán sobresalir de fachada 2 metros, pero la distancia máxima que pudimos fue la equivalente a un brazo.

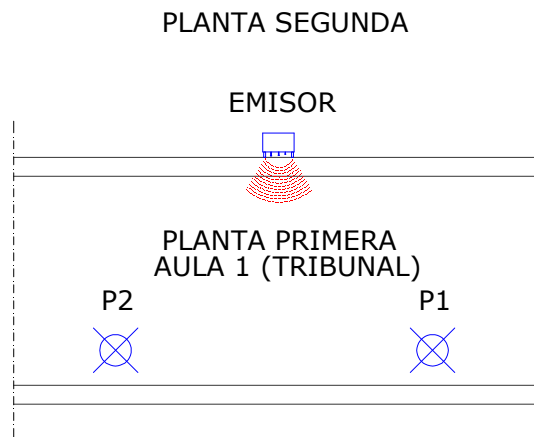
- TOMA DE DATOS EN AULA Y EN FACHADA 2, CON EMISOR



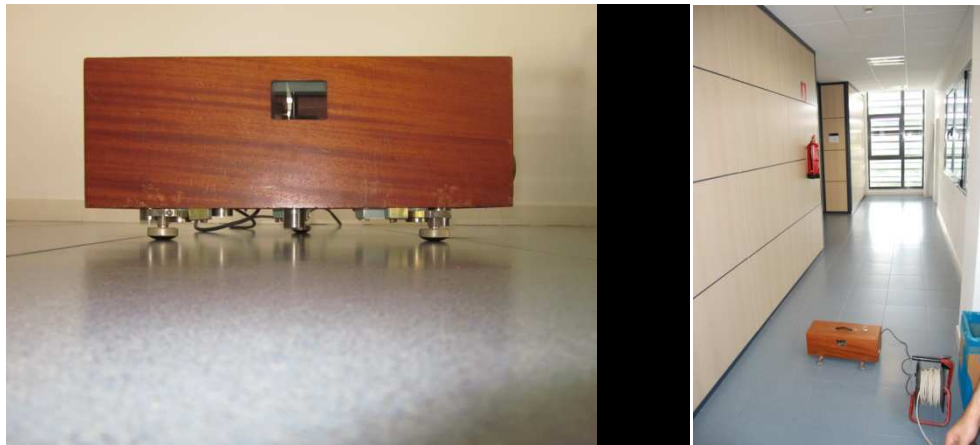
En esta medición seguiremos el mismo criterio utilizado en la medición anterior pero esta vez situaremos el emisor frente a la fachada 2.



- TOMA DE DATOS EN AULA POR IMPACTO

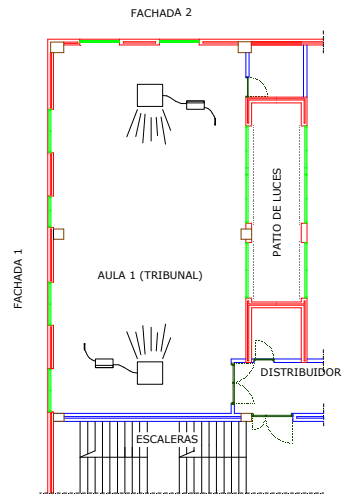


También se realiza la medición de ruido por impacto teniendo como emisor una maquina normalizada de impacto que se colocará en la planta superior al aula donde tomaremos los datos.



En esta medición solo se pudieron coger dos puntos para realizar la toma de datos por las condiciones que ofrecía la planta superior.

- TOMA DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE REVERBERANCIA



Para el cálculo de reverberación usaremos un equipo distinto a los utilizados en las mediciones anteriores.



7 **NORMATIVA**

Se ha aplicado la normativa vigente:

- NORMA ESPAÑOLA UNE-EN ISO 140-4 de agosto 1998.

Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

- Parte 4: Medición "in situ" del aislamiento al ruido aéreo entre locales.

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE 74-040/4 de diciembre 1984.

- NORMA ESPAÑOLA UNE-EN ISO 140-5 de mayo 1999

Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

- Parte 5: Medición "in situ" del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas.

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE 74-040/5 de diciembre 1984.

- NORMA ESPAÑOLA UNE-EN ISO 140-7 de julio 1999

Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

- Parte 7: Medición "in situ" del aislamiento acústico de suelos al ruido de impacto

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE 74-040/7 de octubre 1984

- NORMA ESPAÑOLA UNE-EN ISO 717-1 de agosto 1997

Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

- Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.
- NORMA ESPAÑOLA UNE-EN ISO 717-2 de agosto 1997
- Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
- Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.
- CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACION: DB-HR
- Protección frente al ruido, especifica parámetros objetivos y sistemas de verificación cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de protección frente al ruido.
- Herramienta de cálculo del Documento Básico de protección frente al ruido.
- NORMA ESPAÑOLA UNE-EN 12354
- Acústica en la edificación: estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos.
- Parte 1: ruido aéreo entre recintos
 - Parte 2: ruido de impacto
 - Parte 3: ruido de exterior.

8 MEDICIÓN Y CÁLCULO DEL PROYECTO

En este punto adjunto todas las tablas donde se reflejan los datos obtenidos de las mediciones realizadas en el Aula 1 (Tribunal), en tablas trabajadas con el programa Microsoft Office Excel 2007, en ellas se expresan los resultados mediante los correspondientes cálculos, sus correcciones y con esto la elaboración de sus respectivas gráficas.

Posteriormente se adjunta también las fichas justificativas del CTE, Documento Básico HR Protección frente al ruido:

- Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo en fachadas.
- Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo en fachadas.
Caso: Fachadas en esquina
- Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores
Caso: Recintos adyacentes con 3 aristas comunes. Transmisión horizontal.

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

PARTICIÓN A PASILLO AULA

emisor:	L1	promedio	77,8	76,9	81,8	82,8	81,9	84,8	86,6	87,9	89,1	88,8	85,9	82,5	83,5	86,3	85,5	82,3
Pasillo		Pos 1	83,6	79,3	87,3	85,1	85,2	89,6	91,2	91,8	92,7	91,4	88,9	86,1	87	88,1	86,3	82,6
		Pos 2	78	80,6	82,3	87	83,7	86,9	88,3	90,8	91,9	92,9	89,4	85,8	86,9	91	90,8	87,8
		Pos 3	60,9	75,5	74,2	78,6	81,9	77,9	82,1	83,7	87	84	82,2	77,9	78,6	81,3	78,5	76,5
		Pos 4	64,8	66,5	71,5	73,7	75	75,3	78,6	78,8	80,9	80,1	78,7	73,3	75,5	77,7	75,7	71
		Pos 5	61,6	64,9	64,2	74,2	71,5	72,7	78	76,9	77	79,1	76,4	73,8	73,7	76,3	74,5	70,7
receptor:	L2	promedio	60,8	63,9	63,7	70,0	71,0	68,7	69,0	70,0	68,2	67,5	66,2	61,1	62,1	64,2	65,4	65,0
Aula		Pos 1	61,3	65,5	65,9	69,6	72,5	69,4	67,7	71,3	69,3	69,3	67,4	61,6	64	65,6	67,3	66,8
		Pos 2	61,3	64,7	63	70,5	74	68,7	69,4	70	69,2	68,4	67,3	61,7	63,2	65,6	65,7	65,5
		Pos 3	63,5	62,7	63,7	71,1	71	69,9	70,7	69	68,6	68,6	65,7	61,4	61,9	63,3	65,5	65,5
		Pos 4	57,7	59,8	63,4	70,9	65	63,9	68,4	69,4	66,2	63,3	64,1	59,1	59,6	62,1	62,9	61,8
		Pos 5	57	64,5	60,9	66,2	66,8	69,3	67,8	69,8	66,9	65	65,4	61,1	60,4	63	64,1	63,6
	B2	promedio	35,4	31,7	35,0	34,5	32,2	29,0	26,4	32,8	23,9	24,2	23,9	22,5	23,6	21,0	15,7	14,6
		Pos 1	35,7	32	31,8	31,3	31	30,7	27,2	25,9	24,6	22,8	22,3	19,6	19,9	16	11,7	11,5
		Pos 2	33,7	33,4	34,7	39	33,2	31,1	25,2	24,5	20,4	20,9	22,6	22,2	19,9	18,8	13,5	16,7
		Pos 3	33,4	30,4	33,3	30,8	29,1	26	23,5	20,8	22,9	25,1	25,2	25,1	25	22	15,5	12,3
		Pos 4	36,6	30,3	38,4	32,5	33,6	27,1	28,3	38,2	25,8	24,8	24,2	22	24,9	22,3	17,1	14,8
		Pos 5	36,4	31,4	33,5	32,6	32,5	28	26,5	33,3	24	25,6	24,6	21,9	25	22,6	18	15,5
T2	T30	promedio	2,60	2,30	2,28	2,40	1,65	1,69	1,88	1,93	1,83	1,59	1,59	1,63	1,72	1,69	1,59	1,47
		Pos 1	3,426	2,625	2,931	3,153	1,602	1,713	1,959	1,868	1,797	1,546	1,627	1,664	1,72	1,683	1,534	1,447
		Pos 2	1,783	1,971	1,638	1,652	1,695	1,668	1,810	1,992	1,854	1,632	1,545	1,599	1,729	1,695	1,649	1,483

L2(-)B2	Corrección																	
D=L1-L2corregido	L2_{corregido}	60,8	63,9	63,7	70,0	71,0	68,7	69,0	70,0	68,2	67,5	66,2	61,1	62,1	64,2	65,4	65,0	
Dn,T=D+10lg(2T2)	Diferencia	16,9	13,0	18,1	12,8	10,8	16,1	17,7	17,9	20,9	21,3	19,7	21,5	21,4	22,2	20,1	17,4	
UNE (TR -5dB)	Difer TR	24,1	19,6	24,7	19,6	16,0	21,4	23,4	23,8	26,5	26,3	24,7	26,6	26,8	27,4	25,2	22,0	
	Ref Aj TR	28	31	34	37	40	43	46	47	48	49	50	51	51	51	51	51	
	ref ajuste	6	9	12	15	18	21	24	25	26	27	28	29	29	29	29	29	

0,162*V/T2	A2	19,953	22,614	22,747	21,630	31,523	30,740	27,576	26,926	28,467	32,704	32,766	31,852	30,134	30,768	32,652	35,472
Sabine	α	0,05599358	0,06346183	0,06383685	0,06070147	0,08846544	0,08626754	0,07738672	0,07556232	0,07988785	0,09177802	0,09195163	0,08938724	0,0845667	0,08634416	0,09163385	0,09954627

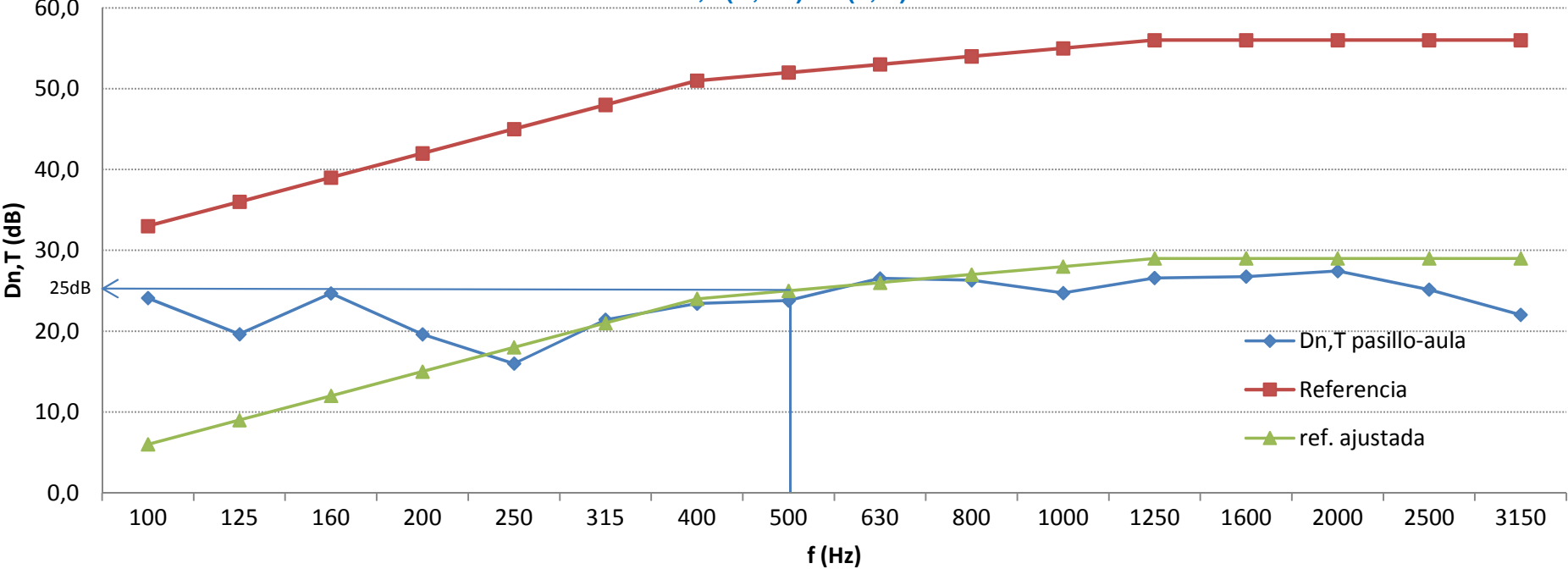
Volumen 320,78 m3 356,336 m2
supf tot

Rw(C;Ctr) 26(0;-1) dB

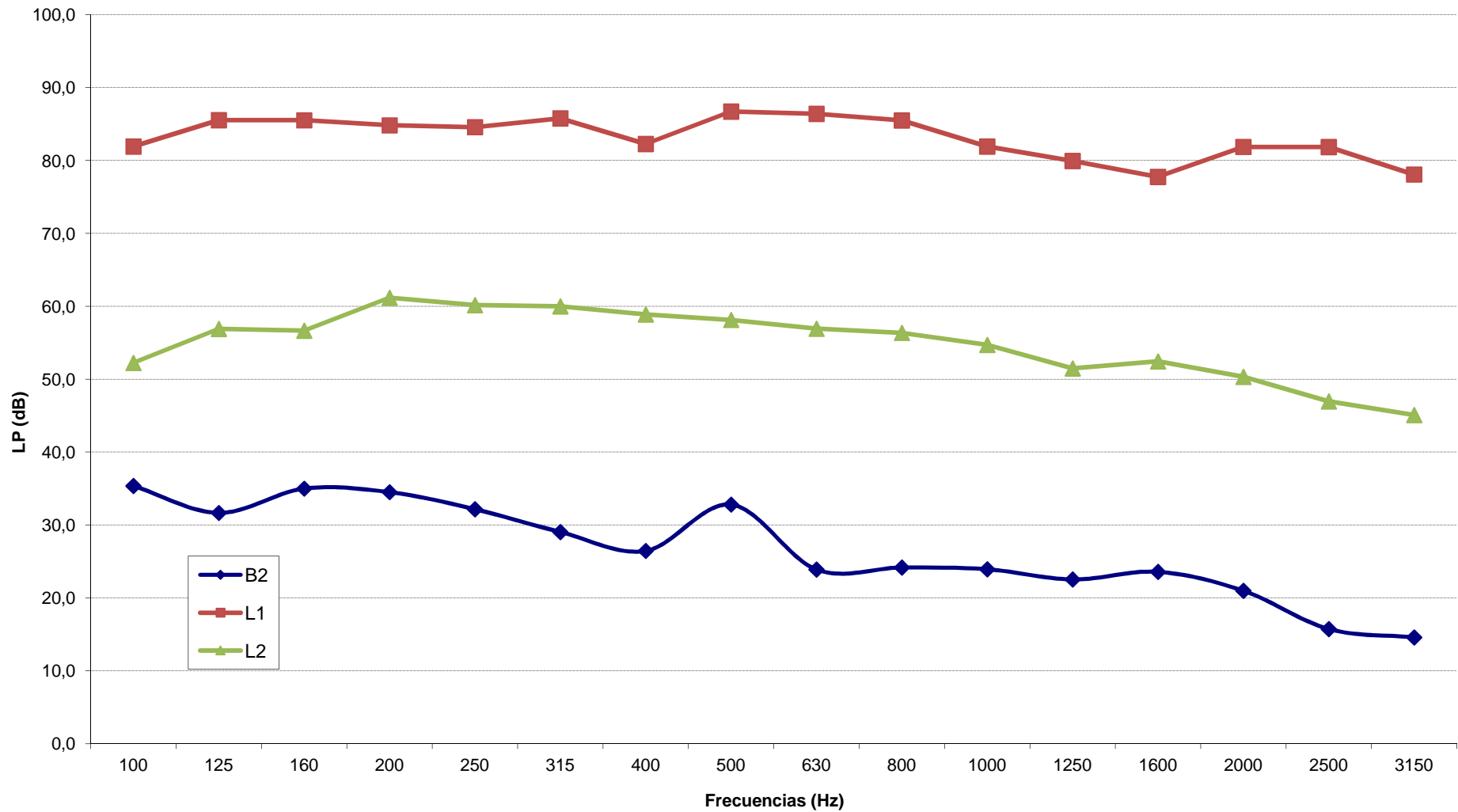
Dn,T Aula 1 (Tribunal) - Partición A

EMISOR: Pasillo RECEPTOR: Aula

$DnT,w(C;Ctr)=25(0;-1)$

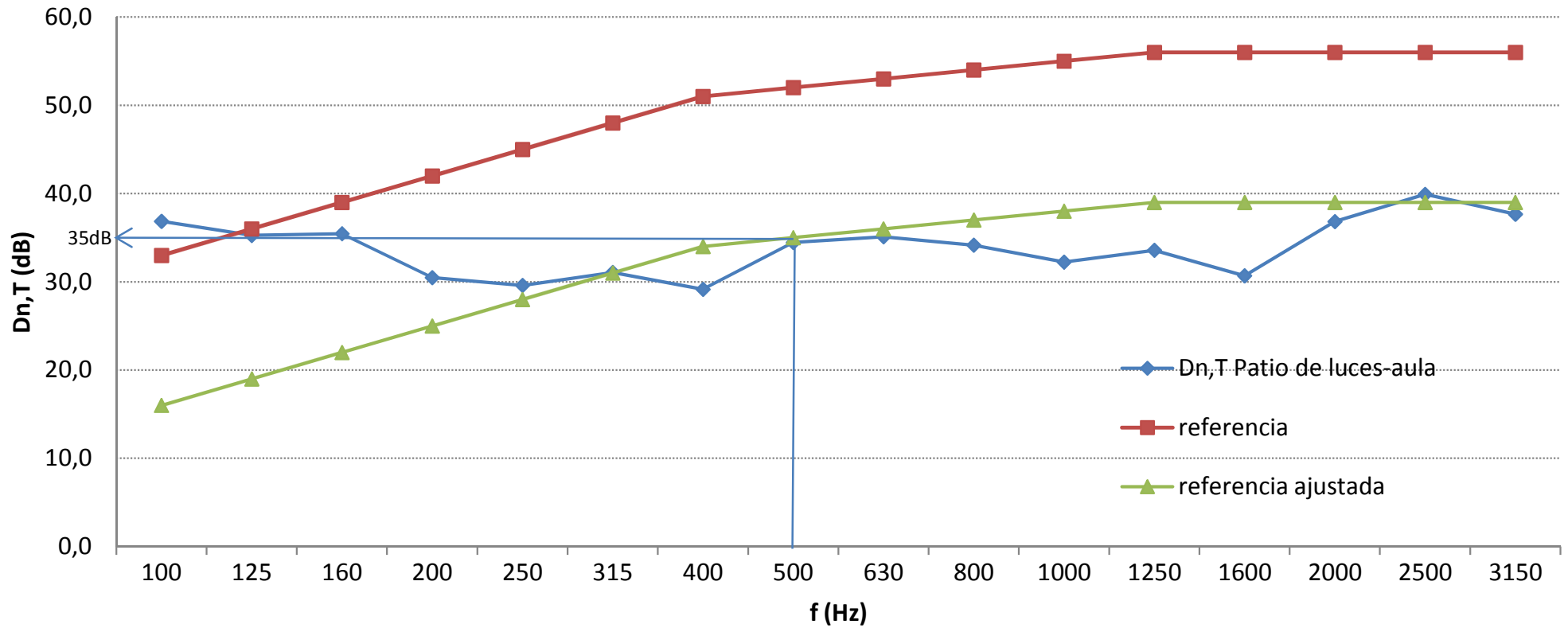


Partición B
EMISOR: Patio de Luces - RECEPTOR: Aula
Niveles

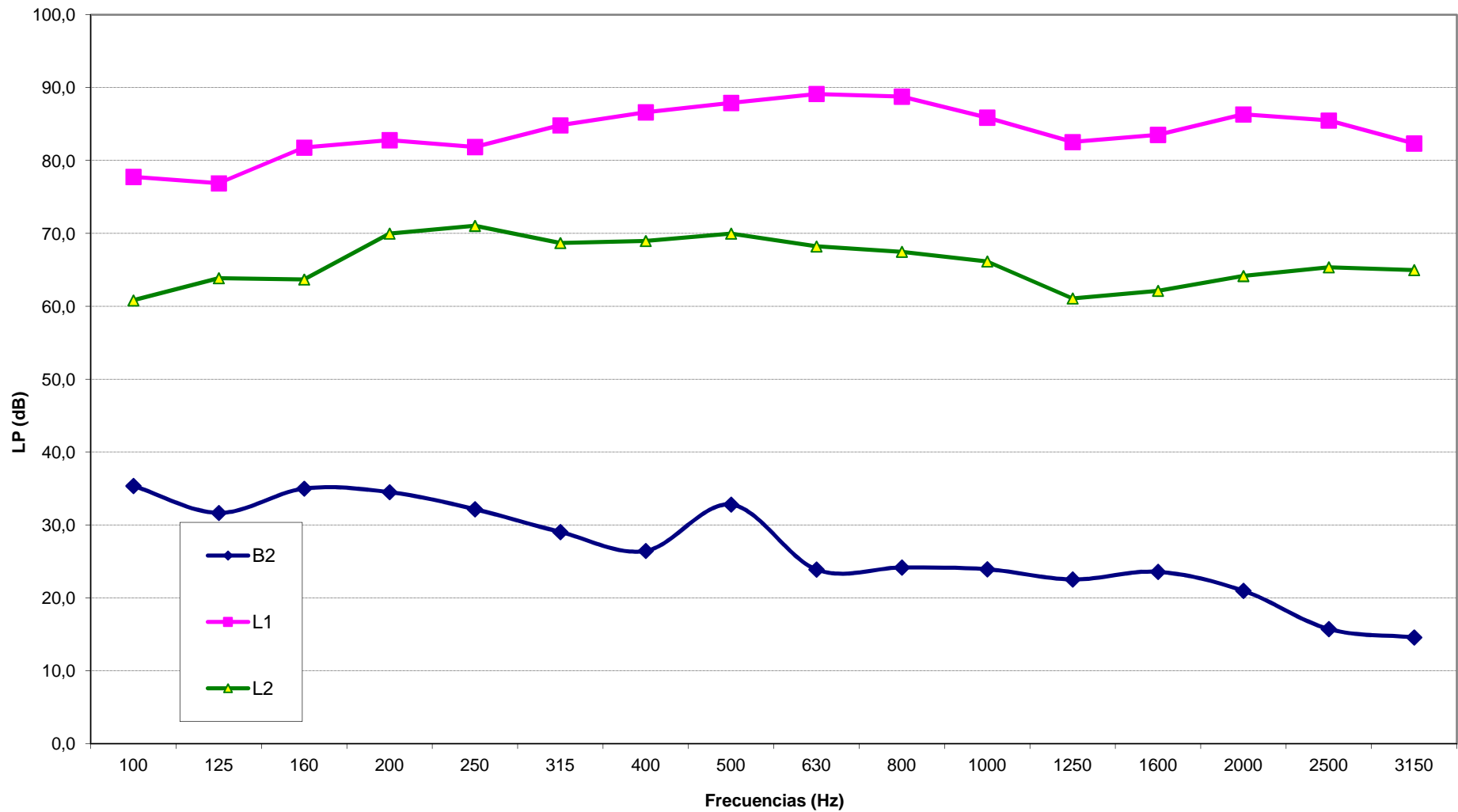


UNE 717-1/2		frecuencia	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
Referencia		33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	56	
PARTICIÓN B		PATIO DE LUCES	AULA																
emisor:	L1	promedio	81,9	85,5	85,5	84,8	84,6	85,8	82,3	86,7	86,4	85,5	81,9	79,9	77,7	81,9	81,8	78,1	
Terraza 1		Pos 1	82,7	85,1	88,9	88,9	88,6	90,3	83,6	91	88,8	87	84,3	83,8	81,2	84,5	85,7	82,7	
		Pos 2	82,6	84,4	86,1	83	83,2	85,7	84	86,2	87,4	85,7	81,4	78,7	77	83,6	82,4	72,7	
		Pos 3	83,1	84,4	85,2	82,3	79,8	80,6	80,4	85,1	85,7	84,2	80,4	78,2	77,1	79,1	78,3	76,6	
		Pos 4	82,2	89,5	82,1	85	82,4	83,3	80,3	82,2	83,7	84,8	82	78,1	70,8	79,2	77,9	75,8	
		Pos 5	75,8	73,2	80,1	77,5	83,6	80,7	81,6	82,6	84,3	85,2	80,1	76,7	77,2	79,6	79,5	75,1	
receptor:	L2	promedio	52,2	56,9	56,7	61,2	60,2	60,0	58,9	58,1	56,9	56,4	54,7	51,5	52,4	50,3	47,0	45,1	
Aula		Pos 1	50,7	56	57,4	63	59	58,9	57,9	57,4	56,3	56,2	55,8	51,2	52,8	49,9	47,3	44,7	
		Pos 2	51,6	59,6	55,9	59,9	61,3	60,7	59,7	57,5	55,9	56,3	53,4	51	53	50,6	47,6	45,6	
		Pos 3	55,1	56,3	57,7	60,7	61,3	61,4	60,6	57,4	58,6	55,9	55,6	52,2	53,1	51,1	47	45,9	
		Pos 4	51,1	52	56,1	62,4	60,3	59,5	58,2	57,9	58,6	57,3	53,4	51,7	50,2	49	46,1	44,6	
		Pos 5	50,8	57,4	55,8	58,1	57,9	58,9	57	59	55,7	55,9	54,7	51,2	52,5	50,7	46,6	44,4	
	B2	promedio	35,4	31,7	35,0	34,5	32,2	29,0	26,4	32,8	23,9	24,2	23,9	22,5	23,6	21,0	15,7	14,6	
		Pos 1	35,7	32	31,8	31,3	31	30,7	27,2	25,9	24,6	22,8	22,3	19,6	19,9	16	11,7	11,5	
		Pos 2	33,7	33,4	34,7	39	33,2	31,1	25,2	24,5	20,4	20,9	22,6	22,2	19,9	18,8	13,5	16,7	
		Pos 3	33,4	30,4	33,3	30,8	29,1	26	23,5	20,8	22,9	25,1	25,2	25,1	25	22	15,5	12,3	
		Pos 4	36,6	30,3	38,4	32,5	33,6	27,1	28,3	38,2	25,8	24,8	24,2	22	24,9	22,3	17,1	14,8	
		Pos 5	36,4	31,4	33,5	32,6	32,5	28	26,5	33,3	24	25,6	24,6	21,9	25	22,6	18	15,5	
	T30	promedio	2,60	2,30	2,28	2,40	1,65	1,69	1,88	1,93	1,83	1,59	1,59	1,63	1,72	1,69	1,59	1,47	
		Pos 1	3,426	2,625	2,931	3,153	1,602	1,713	1,959	1,868	1,797	1,546	1,627	1,664	1,72	1,683	1,534	1,447	
		Pos 2	1,783	1,971	1,638	1,652	1,695	1,668	1,810	1,992	1,854	1,632	1,545	1,599	1,729	1,695	1,649	1,483	
		Corrección																	
		L2_{corregido}	52,2	56,9	56,7	61,2	60,2	60,0	58,9	58,1	56,9	56,4	54,7	51,5	52,4	50,3	47,0	45,1	
		Diferencia	29,7	28,6	28,9	23,7	24,4	25,8	23,4	28,6	29,5	29,1	27,2	28,4	25,3	31,5	34,9	33,0	
		Difer TR	36,9	35,3	35,5	30,5	29,6	31,1	29,1	34,5	35,1	34,2	32,2	33,6	30,7	36,8	39,9	37,7	
		Ref Aj TR	28	31	34	37	40	43	46	47	48	49	50	51	51	51	51	51	
		ref ajuste	16	19	22	25	28	31	34	35	36	37	38	39	39	39	39	39	
0,162*V/T2																			
Sabine	A2		19,953	22,614	22,747	21,630	31,523	30,740	27,576	26,926	28,467	32,704	32,766	31,852	30,134	30,768	32,652	35,472	
coef abs	α		0,05599358	0,06346183	0,06383685	0,06070147	0,08846544	0,08626754	0,07738672	0,07556232	0,07988785	0,09177802	0,09195163	0,08938724	0,0845667	0,08634416	0,09163385	0,09954627	
		Volumen	320,78 m3		356,336 m2														

Dn,T Aula 1 (Tribunal) - Partición B
EMISOR: Patio de luces - RECEPTOR: Aula
DnT,w(C;Ctr)=35(-1;-2)



Partición A
EMISOR: Pasillo - RECEPTOR: Aula
Niveles

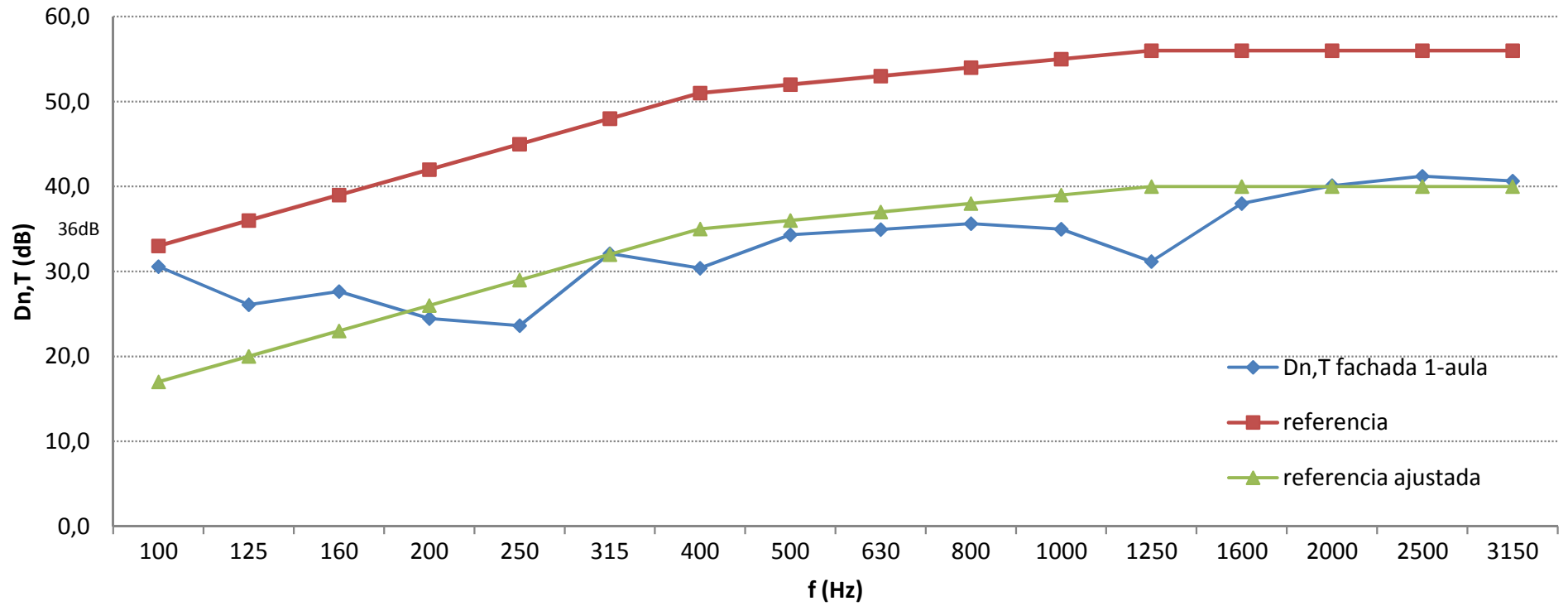


		frecuencia	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
UNE 717-1/2		Referencia	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
PARTICIÓN C		FACHADA 1 AULA																	
emisor: Fachada 1	L1	promedio	73,8	76,0	76,1	76,0	75,6	77,4	73,3	76,8	79,3	82,0	80,8	78,9	81,9	84,4	84,8	81,9	
		Pos 1	70,8	73,9	74	73,4	72,2	68,4	69,4	71,1	68,9	68,8	71,2	64,5	69,6	68,5	69,1	66,3	
		Pos 2	71,8	75,3	74,1	75,4	69,8	71,4	72,9	71,4	66,8	73,6	75,4	69,4	71,6	72,6	71,5	66,5	
		Pos 3	75,9	75,9	74	80,3	72,9	73,9	72,3	75,4	80	81	81,2	78,8	83,7	83,1	81,1	80,8	
		Pos 4	74	72,4	76,2	71,3	75,1	79,5	72,6	80,6	82,9	84,4	83,2	81,4	84,1	87,8	87,7	85,1	
		Pos 5	74,6	79,2	79,3	73,3	80,2	81,4	76,3	78,1	80,7	85,5	83,3	82,1	84,2	87,4	88,9	85,1	
receptor: Aula	L2	promedio	50,4	56,5	55,0	58,4	57,2	50,6	48,6	48,4	50,0	51,3	50,8	52,9	49,3	49,6	48,6	45,9	
		Pos 1	49,1	51,9	54,3	59,6	56,8	47,9	48,6	45,5	47,8	49,5	49,1	50,5	47,4	48,8	45,6	43	
		Pos 2	53,2	56,2	54	57,2	54,9	47,9	48,4	47,2	47,9	49	48,1	51	47,2	48,1	45,7	43,1	
		Pos 3	48,4	52,5	53	57,9	57,5	48,7	48,1	48	49,2	50,6	51,2	51,2	48,9	49,2	47,5	45,8	
		Pos 4	47,8	50,4	53,6	57,6	58,8	49,8	47,2	47,3	48,7	50,9	51,1	51,4	49,5	50	47,9	45,6	
		Pos 5	51,1	61,4	58,1	59	57	54,4	50,3	51,4	53,4	54,4	53	56,6	51,8	51,2	52,4	49,1	
B2	promedio	35,4	31,7	35,0	34,5	32,2	29,0	26,4	32,8	23,9	24,2	23,9	22,5	23,6	21,0	15,7	14,6		
	Pos 1	35,7	32	31,8	31,3	31	30,7	27,2	25,9	24,6	22,8	22,3	19,6	19,9	16	11,7	11,5		
	Pos 2	33,7	33,4	34,7	39	33,2	31,1	25,2	24,5	20,4	20,9	22,6	22,2	19,9	18,8	13,5	16,7		
	Pos 3	33,4	30,4	33,3	30,8	29,1	26	23,5	20,8	22,9	25,1	25,2	25,1	25	22	15,5	12,3		
	Pos 4	36,6	30,3	38,4	32,5	33,6	27,1	28,3	38,2	25,8	24,8	24,2	22	24,9	22,3	17,1	14,8		
	Pos 5	36,4	31,4	33,5	32,6	32,5	28	26,5	33,3	24	25,6	24,6	21,9	25	22,6	18	15,5		
T30	promedio	2,60	2,30	2,28	2,40	1,65	1,69	1,88	1,93	1,83	1,59	1,59	1,63	1,72	1,69	1,59	1,47		
	Pos 1	3,426	2,625	2,931	3,153	1,602	1,713	1,959	1,868	1,797	1,546	1,627	1,664	1,72	1,683	1,534	1,447		
	Pos 2	1,783	1,971	1,638	1,652	1,695	1,668	1,810	1,992	1,854	1,632	1,545	1,599	1,729	1,695	1,649	1,483		
Corrección																			
	L2_{corregido}	50,4	56,5	55,0	58,4	57,2	50,6	48,6	48,4	50,0	51,3	50,8	52,9	49,3	49,6	48,6	45,9		
	Diferencia	23,4	19,5	21,0	17,6	18,5	26,8	24,6	28,5	29,3	30,6	30,0	26,0	32,6	34,8	36,2	36,0		
	Difer TR	30,6	26,1	27,6	24,5	23,6	32,1	30,4	34,3	34,9	35,6	35,0	31,2	38,0	40,1	41,2	40,6		
	Ref Aj TR	28	31	34	37	40	43	46	47	48	49	50	51	51	51	51	51		
	ref ajuste	17	20	23	26	29	32	35	36	37	38	39	40	40	40	40	40		
0,162*V/T2	Az	19,953	22,614	22,747	21,630	31,523	30,740	27,576	26,926	28,467	32,704	32,766	31,852	30,134	30,768	32,652	35,472		
Sabine	α	0,05599358	0,06346183	0,06383685	0,06070147	0,08846544	0,08626754	0,07738672	0,07556232	0,07988785	0,09177802	0,09195163	0,08938724	0,0845667	0,08634416	0,09163385	0,09954627		
coef abs																			
	Volumen	320,78 m3	356,336 m2																

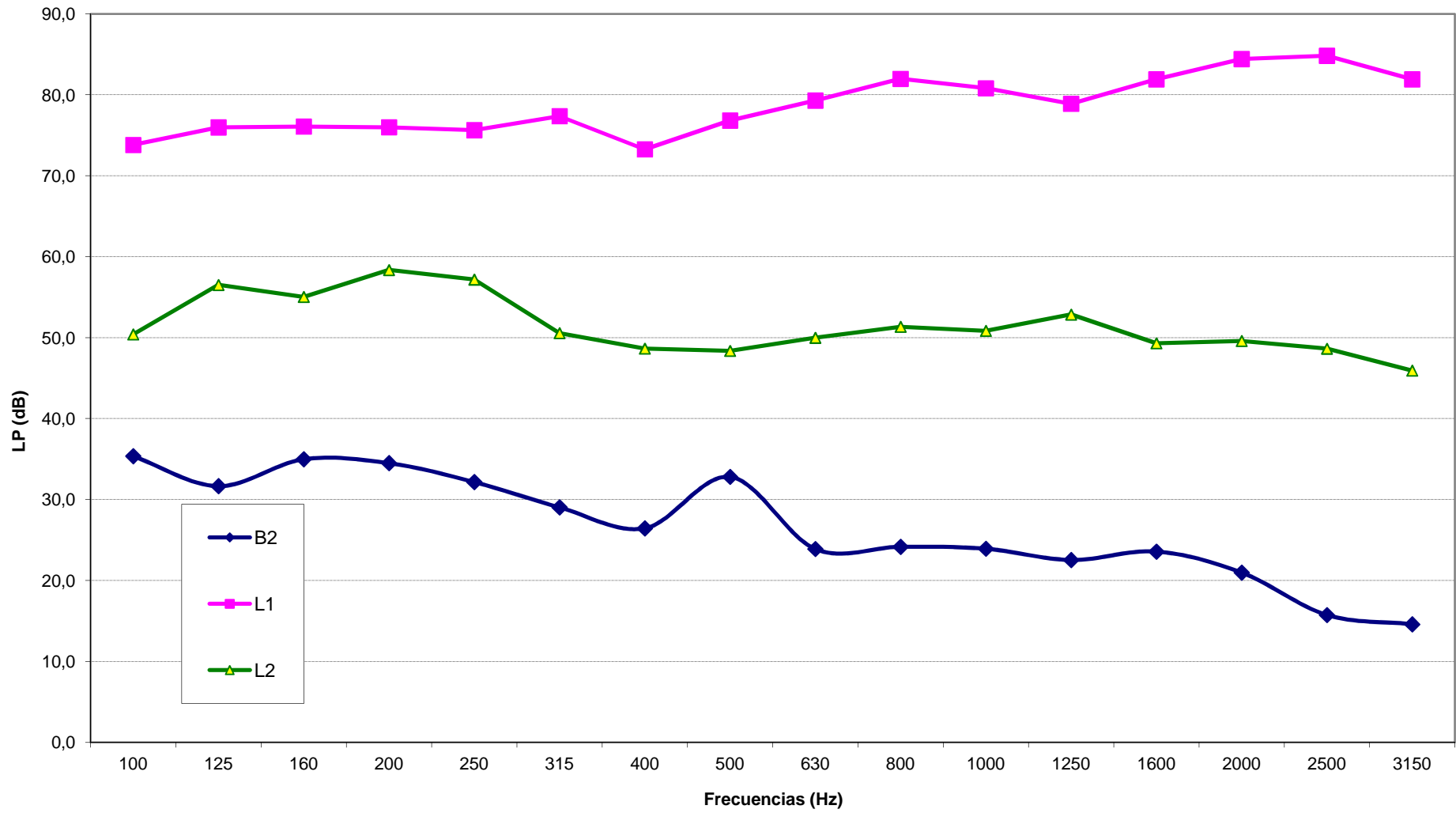
Dn,T Aula 1 (Tribunal) - Partición C

EMISOR: Fachada 1 RECEPTOR: Aula

$DnT,w(C;Ctr)=36(-2;-4)$



Partición C
EMISOR: Fachada 1 - RECEPTOR: Aula
Niveles

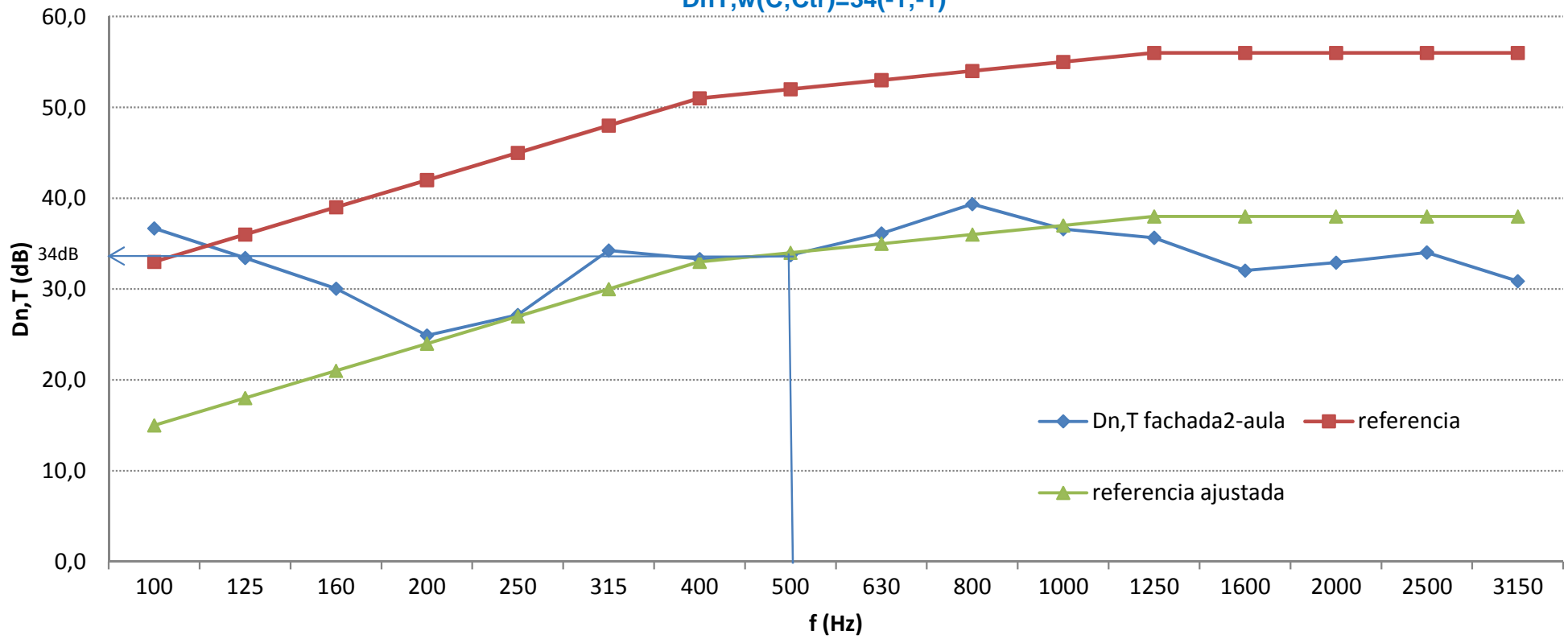


		frecuencia	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
UNE 717-1/2		Referencia	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
PARTICIÓN D		FACHADA 2 AULA																	
emisor: Fachada 2	L1	promedio	75,2	77,1	78,8	75,9	75,0	77,0	75,6	79,7	82,1	84,5	82,5	79,8	82,9	86,3	85,1	76,7	
		Pos 1	75,5	76,4	75	73,7	66,9	74,2	73,9	79,6	84,1	84,3	76,2	74,9	76,7	83,1	74,3	72,3	
		Pos 2	77,2	76,7	78,9	72,9	73,8	74,8	76,5	81,9	83,3	87,2	79,6	80,4	83,2	87,5	79,2	76,2	
		Pos 3	73,4	76,5	80	78	74,2	75,7	74,3	76	77,7	83,1	83,6	81,8	77,9	87	89,5	77,2	
		Pos 4	75,9	78,9	79,8	75,4	76,9	78,7	77,5	76,8	79,9	82,9	81,2	78,1	84,7	83,9	86,3	79,4	
		Pos 5	72,7	76,2	78,9	77,4	77,3	79,3	74,9	81,4	82,7	83,6	85,9	80,8	85,7	87,9	82,7	75,4	
receptor: Aula	L2	promedio	46,1	50,3	55,4	57,9	53,0	48,1	48,1	51,9	51,6	50,2	50,9	49,3	56,3	58,7	56,1	50,5	
		Pos 1	42,9	47,4	50,3	56,1	49,6	45	48,8	49,9	48,7	49,1	50,3	47,5	55,4	57,7	54,9	48,7	
		Pos 2	46,6	48,3	49,4	54,6	49,8	48,6	45,4	51	49,1	49,5	49,6	46,7	55	58,4	54	48,9	
		Pos 3	47,2	49,4	55,3	57,2	51,9	47,8	49	53,7	52,3	50,2	51	49,9	56,1	58,6	56,6	51,4	
		Pos 4	45,8	49,1	52,4	58	50,5	49	48,7	52	50,5	50,3	51,8	50,1	56,4	58,6	57,6	51,9	
		Pos 5	46,9	53,8	60,1	60,8	57,4	48,9	47,7	51,9	54,6	51,5	51,4	50,8	57,9	59,8	56,4	50,6	
B2	promedio	35,4	31,7	35,0	34,5	32,2	29,0	26,4	32,8	23,9	24,2	23,9	22,5	23,6	21,0	15,7	14,6		
	Pos 1	35,7	32	31,8	31,3	31	30,7	27,2	25,9	24,6	22,8	22,3	19,6	19,9	16	11,7	11,5		
	Pos 2	33,7	33,4	34,7	39	33,2	31,1	25,2	24,5	20,4	20,9	22,6	22,2	19,9	18,8	13,5	16,7		
	Pos 3	33,4	30,4	33,3	30,8	29,1	26	23,5	20,8	22,9	25,1	25,2	25,1	25	22	15,5	12,3		
	Pos 4	36,6	30,3	38,4	32,5	33,6	27,1	28,3	38,2	25,8	24,8	24,2	22	24,9	22,3	17,1	14,8		
	Pos 5	36,4	31,4	33,5	32,6	32,5	28	26,5	33,3	24	25,6	24,6	21,9	25	22,6	18	15,5		
T30	promedio	2,60	2,30	2,28	2,40	1,65	1,69	1,88	1,93	1,83	1,59	1,59	1,63	1,72	1,69	1,59	1,47		
	Pos 1	3,426	2,625	2,931	3,153	1,602	1,713	1,959	1,868	1,797	1,546	1,627	1,664	1,72	1,683	1,534	1,447		
	Pos 2	1,783	1,971	1,638	1,652	1,695	1,668	1,810	1,992	1,854	1,632	1,545	1,599	1,729	1,695	1,649	1,483		
Corrección LN alto																			
	L²_{corregido}	45,7	50,3	55,4	57,9	53,0	48,1	48,1	51,9	51,6	50,2	50,9	49,3	56,3	58,7	56,1	50,5		
	Diferencia	29,5	26,8	23,4	18,1	22,0	29,0	27,5	27,9	30,5	34,3	31,6	30,5	26,7	27,6	29,0	26,2		
	Difer TR	36,7	33,4	30,0	24,9	27,1	34,2	33,3	33,7	36,1	39,4	36,6	35,7	32,0	32,9	34,0	30,9		
	Ref Aj TR	28	31	34	37	40	43	46	47	48	49	50	51	51	51	51	51		
	ref ajuste	15	18	21	24	27	30	33	34	35	36	37	38	38	38	38	38		
0,162*V/T2	A2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Sabine	coef abs	α		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0,162*V/T2																			
		Volumen	320,78 m3			356,336 m2													

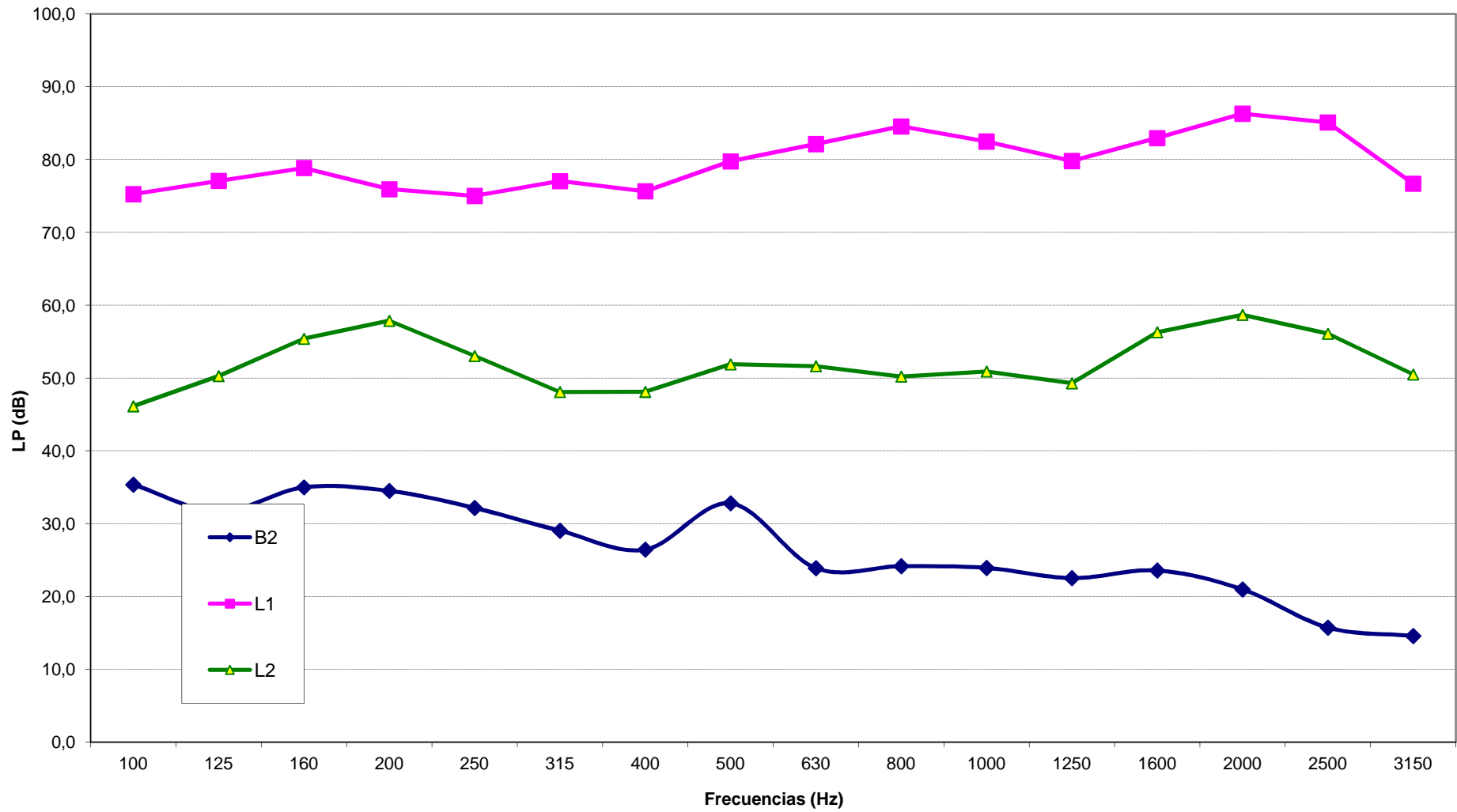
Dn,T Aula 1 (Tribunal) - Partición D

EMISOR: fachada 2 RECEPTOR: Aula

$DnT,w(C;Ctr)=34(-1;-1)$



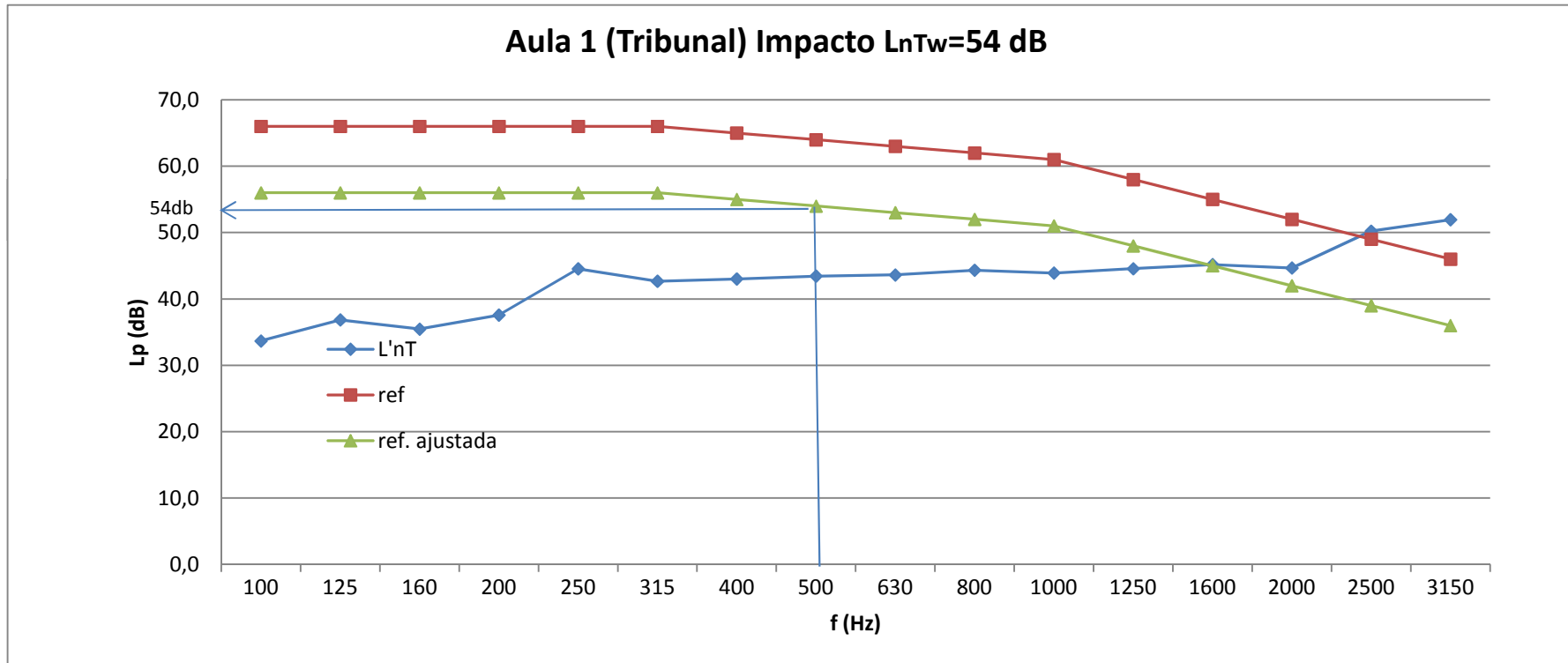
Partición D
EMISOR: Fachada 2 - RECEPTOR: Aula
Niveles



RUIDO DE IMPACTO

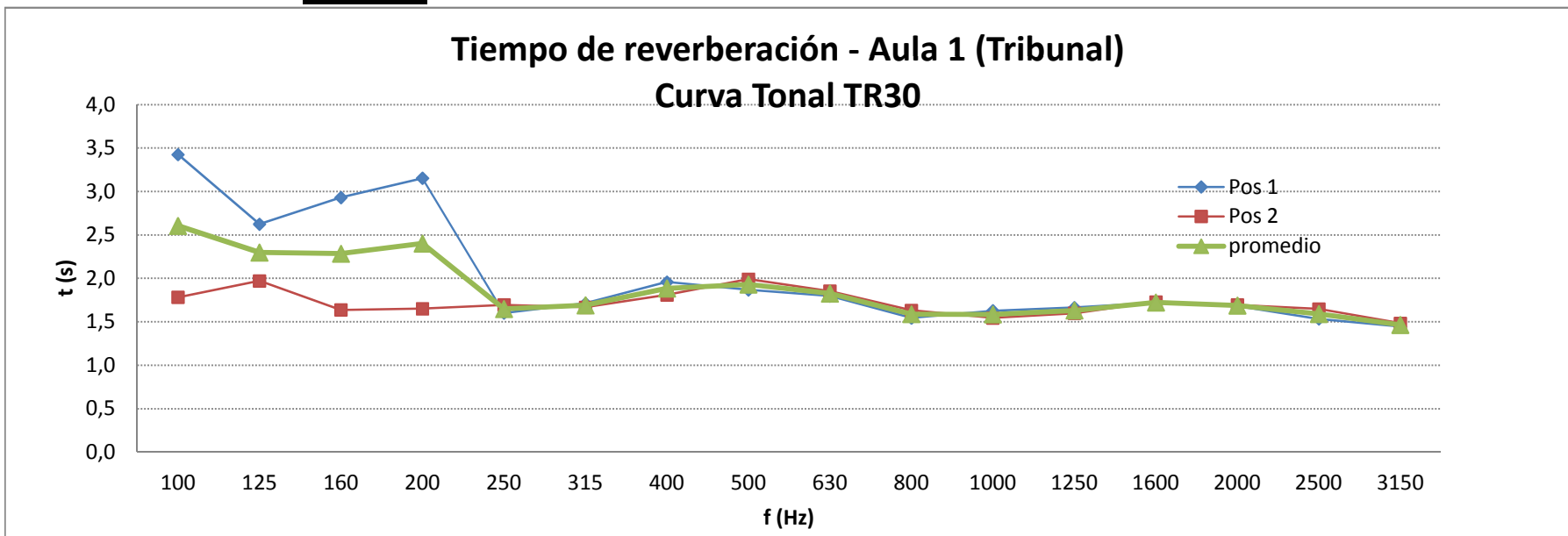
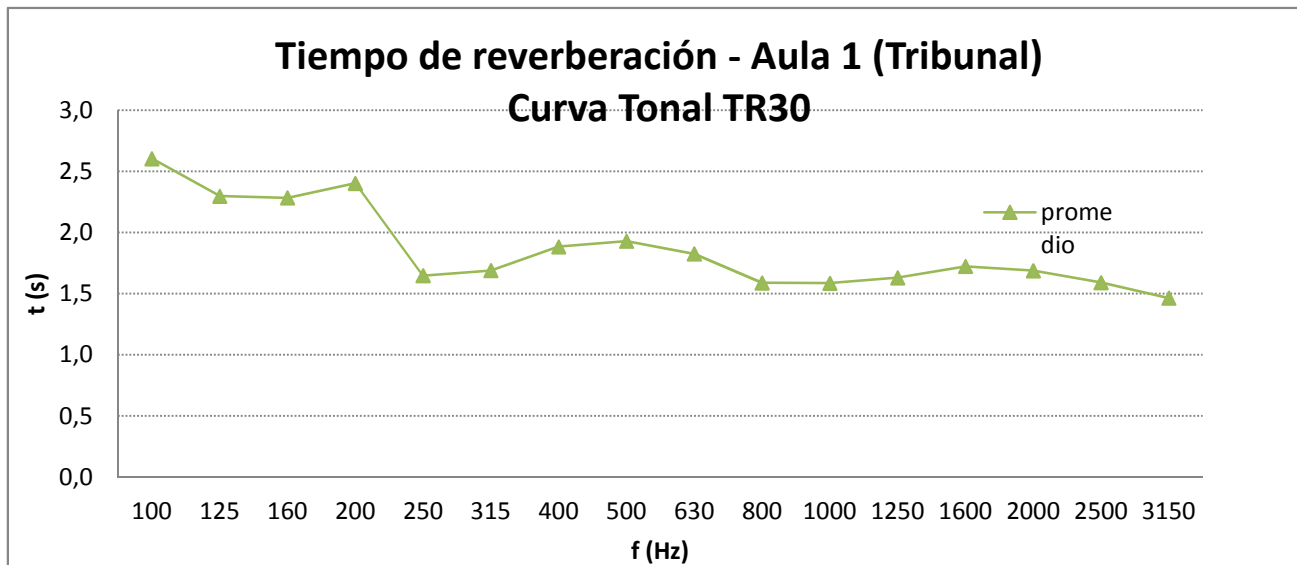
	frecuencia	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
ref UNE 717-2		66	66	66	66	66	66	65	64	63	62	61	58	55	52	49	46
impacto P1	Pos 1	41,4	43,8	40,5	42,7	50,1	48,6	49,5	49,1	49,2	49,3	49,3	49,8	50,2	49,9	55,4	55,8
impacto P2	Pos 2	40,2	43,1	43,2	45,6	49,3	47,2	47,9	49,5	49,3	49,4	48,5	49,6	50,9	50,0	55,1	57,3
	promedio	40,8	43,5	42,1	44,4	49,7	48,0	48,8	49,3	49,3	49,4	48,9	49,7	50,6	50,0	55,3	56,6
t rev receptor	T	2,60	2,30	2,28	2,40	1,65	1,69	1,88	1,93	1,83	1,59	1,59	1,63	1,72	1,69	1,59	1,47
L-10lg(T/0'5)	L'n,T	33,7	36,8	35,5	37,6	44,5	42,7	43,0	43,4	43,6	44,3	43,9	44,6	45,2	44,7	50,2	51,9
ref ajustada		56,0	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0	55,0	54,0	53,0	52,0	51,0	48,0	45,0	42,0	39,0	36,0

L_{nw}=54dB



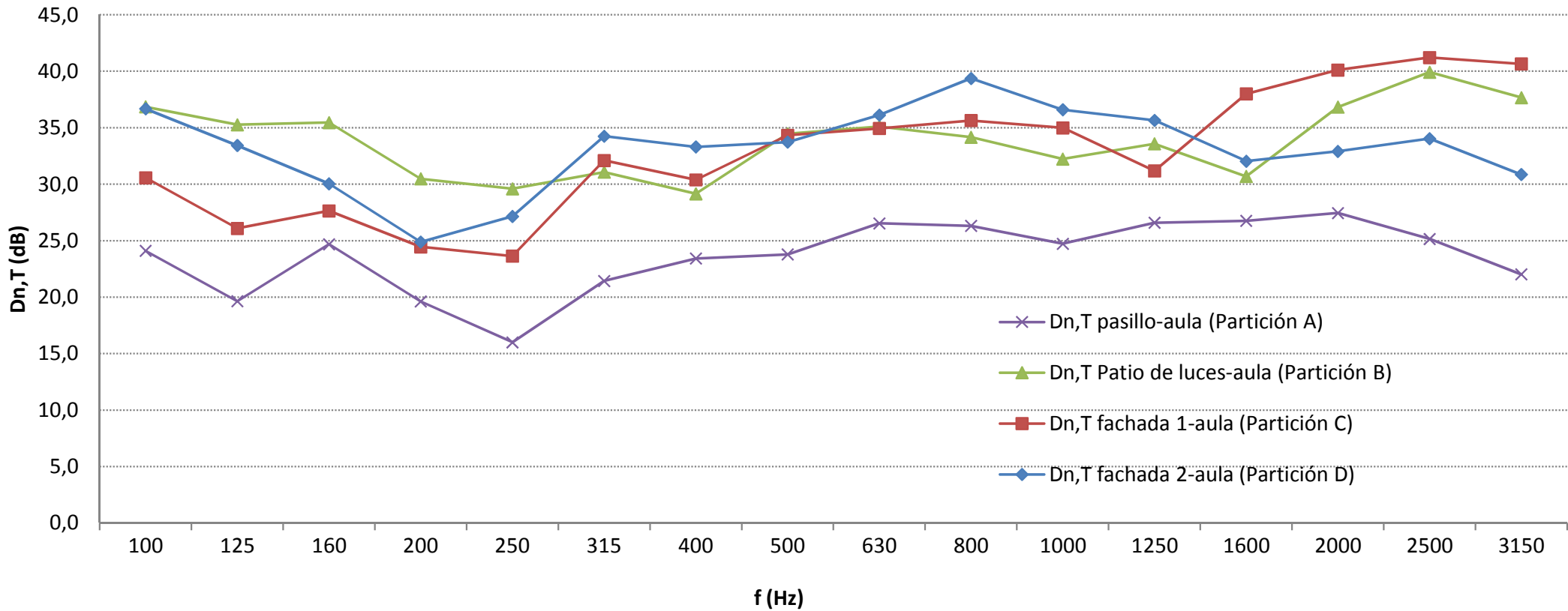
f(Hz)	Pos 1	Pos 2	promedio
100	3,426	1,783	2,60
125	2,625	1,971	2,30
160	2,931	1,638	2,28
200	3,153	1,652	2,40
250	1,602	1,695	1,65
315	1,713	1,668	1,69
400	1,959	1,810	1,88
500	1,868	1,992	1,93
630	1,797	1,854	1,83
800	1,546	1,632	1,59
1000	1,627	1,545	1,59
1250	1,664	1,599	1,63
1600	1,72	1,729	1,72
2000	1,683	1,695	1,69
2500	1,534	1,649	1,59
3150	1,447	1,483	1,47

1,735

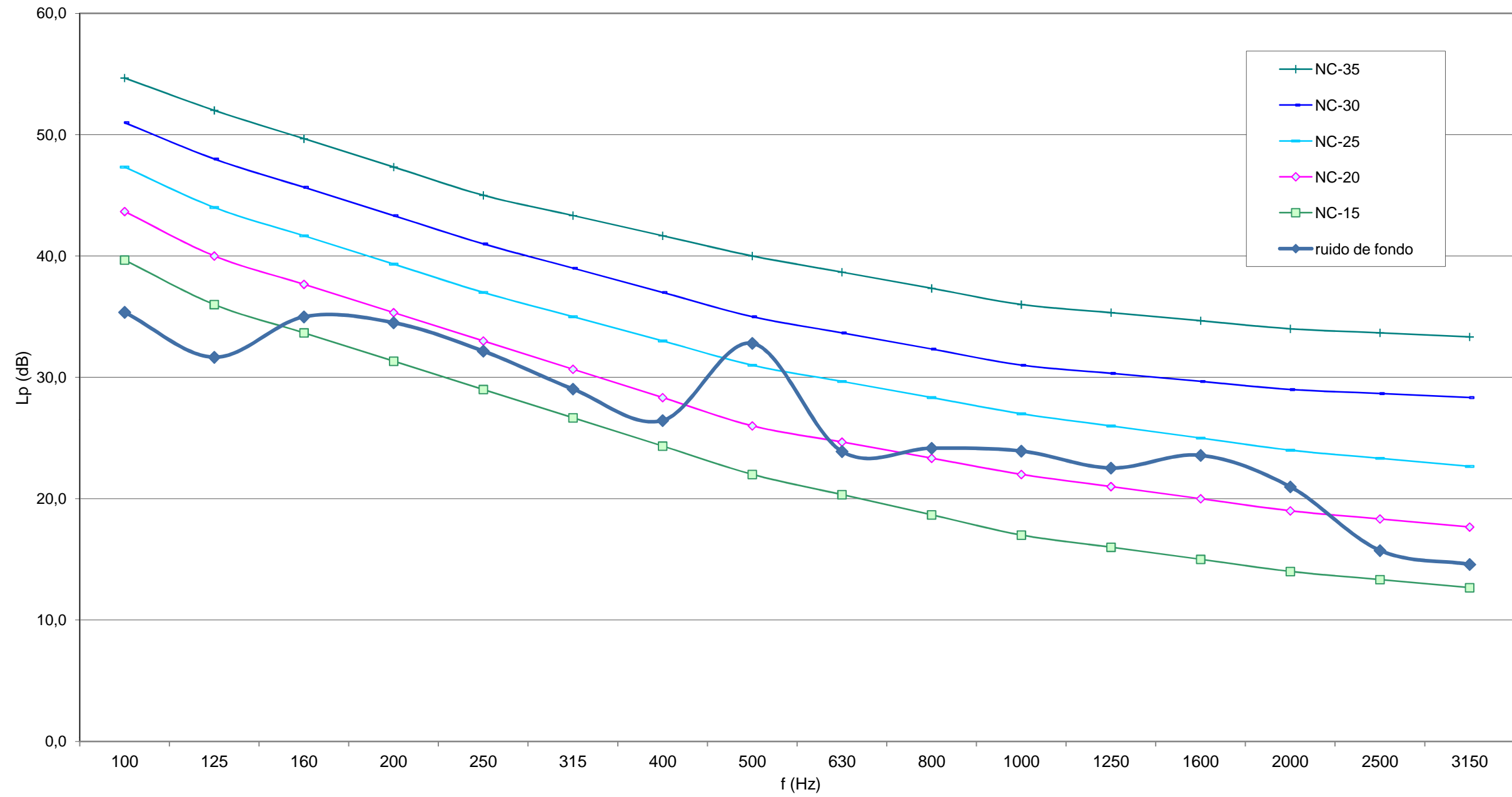


		AULA 1 (TRIBUNAL)															
f (Hz)		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
t rev med																	
ref UNE 717		33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
T30	promedio	2,60	2,30	2,28	2,40	1,65	1,69	1,88	1,93	1,83	1,59	1,59	1,63	1,72	1,69	1,59	1,47
	Pos 1	3,426	2,625	2,931	3,153	1,602	1,713	1,959	1,868	1,797	1,546	1,627	1,664	1,72	1,683	1,534	1,447
	Pos 2	1,783	1,971	1,638	1,652	1,695	1,668	1,810	1,992	1,854	1,632	1,545	1,599	1,729	1,695	1,649	1,483
Fondo B2 dentro aula	Promedio	35,4	31,7	35,0	34,5	32,2	29,0	26,4	32,8	23,9	24,2	23,9	22,5	23,6	21,0	15,7	14,6
	Pos 1	35,7	32	31,8	31,3	31	30,7	27,2	25,9	24,6	22,8	22,3	19,6	19,9	16	11,7	11,5
	Pos 2	33,7	33,4	34,7	39	33,2	31,1	25,2	24,5	20,4	20,9	22,6	22,2	19,9	18,8	13,5	16,7
	Pos 3	33,4	30,4	33,3	30,8	29,1	26	23,5	20,8	22,9	25,1	25,2	25,1	25	22	15,5	12,3
	Pos 4	36,6	30,3	38,4	32,5	33,6	27,1	28,3	38,2	25,8	24,8	24,2	22	24,9	22,3	17,1	14,8
	Pos 5	36,4	31,4	33,5	32,6	32,5	28	26,5	33,3	24	25,6	24,6	21,9	25	22,6	18	15,5
impacto P1 impacto P2	Pos 1	41,4	43,8	40,5	42,7	50,1	48,6	49,5	49,1	49,2	49,3	49,3	49,8	50,2	49,9	55,4	55,8
	Pos 3	40,2	43,1	43,2	45,6	49,3	47,2	47,9	49,5	49,3	49,4	48,5	49,6	50,9	50,0	55,1	57,3
	promedio	40,8	43,5	42,1	44,4	49,7	48,0	48,8	49,3	49,3	49,4	48,9	49,7	50,6	50,0	55,3	56,6
corrección pasillo	ruido pasillo	79,5	79,4	83,0	84,6	85,1	86,5	89,3	89,2	90,6	90,4	88,8	84,6	85,7	86,7	86,9	83,1
	ruido aula	62,3	62,3	61,4	64,5	64,1	63,9	64,0	64,1	63,6	63,5	60,8	57,5	58,5	61,9	61,1	57,9
	fondo	40,1	38,8	37,3	37,1	38,7	35,4	33,3	32,2	29,8	29,1	31,5	31,5	27,5	25,9	23,1	18,4
	diferencia ruic ruido-fondo	17,2	17,1	21,6	20,1	21,0	22,6	25,3	25,1	27,0	26,9	28,0	27,1	27,2	24,8	25,8	25,1
NC-65 NC-60 NC-55 NC-50 NC-45 NC-40 NC-35 NC-30 NC-25 NC-20 NC-15		76,7	75,0	73,7	72,3	71,0	70,0	69,0	68,0	67,3	66,7	66,0	65,3	64,7	64,0	63,7	63,3
		73,0	71,0	69,7	68,3	67,0	65,7	64,3	63,0	62,3	61,7	61,0	60,3	59,7	59,0	58,7	58,3
		69,3	67,0	65,3	63,7	62,0	60,7	59,3	58,0	57,3	56,7	56,0	55,3	54,7	54,0	53,7	53,3
		66,3	64,0	62,0	60,0	58,0	56,7	55,3	54,0	53,0	52,0	51,0	50,3	49,7	49,0	48,7	48,3
		62,3	60,0	58,0	56,0	54,0	52,3	50,7	49,0	48,0	47,0	46,0	45,3	44,7	44,0	43,7	43,3
		59,3	57,0	54,7	52,3	50,0	48,3	46,7	45,0	43,7	42,3	41,0	40,3	39,7	39,0	38,7	38,3
		54,7	52,0	49,7	47,3	45,0	43,3	41,7	40,0	38,7	37,3	36,0	35,3	34,7	34,0	33,7	33,3
		51,0	48,0	45,7	43,3	41,0	39,0	37,0	35,0	33,7	32,3	31,0	30,3	29,7	29,0	28,7	28,3
		47,3	44,0	41,7	39,3	37,0	35,0	33,0	31,0	29,7	28,3	27,0	26,0	25,0	24,0	23,3	22,7
		43,7	40,0	37,7	35,3	33,0	30,7	28,3	26,0	24,7	23,3	22,0	21,0	20,0	19,0	18,3	17,7
		39,7	36,0	33,7	31,3	29,0	26,7	24,3	22,0	20,3	18,7	17,0	16,0	15,0	14,0	13,3	12,7

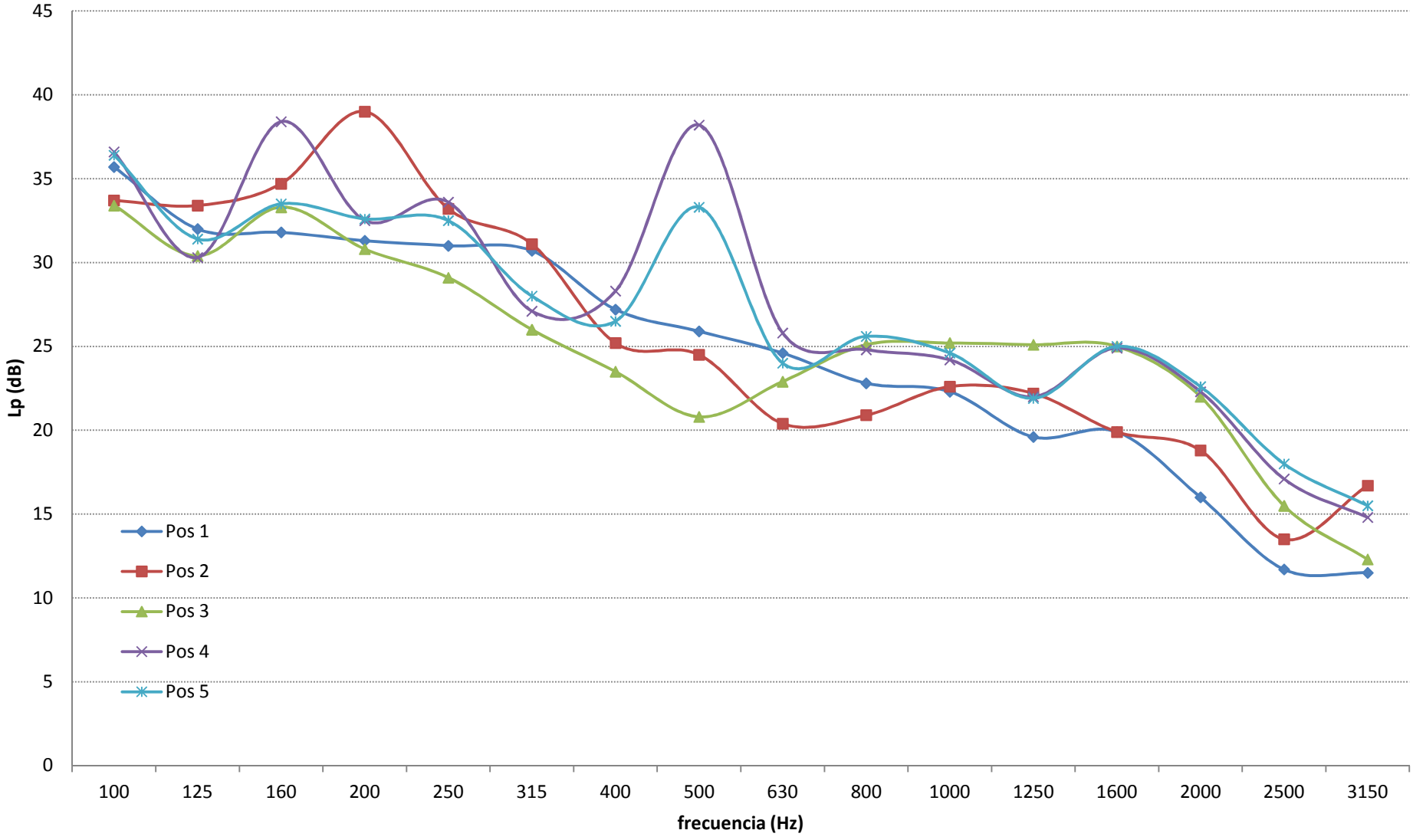
Dn,T Aula Tribunal (Todas las particiones)



Aula 1 (Tribunal)
Ruido de fondo (valores medios)



Nivel de fondo - Aula 1 (Tribunal)



Proyecto		
Autor		
Fecha		
Referencia		

Características técnicas de la fachada y edificio

Tipo de Ruido Exterior	Automóviles	L_d (dBA)	60				
Forma de fachada a	Plano de Fachada	ΔL_{fs} (dB)	0				
Forma de fachada b	Plano de Fachada	ΔL_{fs} (dB)	0				
Soluciones Constructivas							
Sección Separador 1	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Separador 2	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F1a	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F1b	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F2a	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F2b	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F3	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F4	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Parámetros Acústicos							
	S_i (m ²)	l_i (m)	m'_i (kg/m ²)	$R_{A,tr}$ (dBA)	R_A (dB)		
Sección Separador 1	19,4	-	157	51	56	-	-
Sección Separador 2	37,17	-	157	51	56	-	-
Sección Flanco F1a	19,4	8,2	157	51	56	-	-
Sección Flanco F1b	37,17	14,87	157	51	56	-	-
Sección Flanco F2a	19,4	8,2	157	51	56	-	-
Sección Flanco F2b	37,17	14,87	157	51	56	-	-
Sección Flanco F3	18,5	2,5	157	51	56	-	-
Sección Flanco F4	18,5	2,5	157	51	56	-	-

Características técnicas del recinto receptor

Tipo de Recinto	Cultural, sanitario, docente y administrativo Aulas	Volumen	304,83 m ³				
Soluciones Constructivas							
Sección Separador 1	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Separador 2	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Suelo f1	LM 300 mm						
Techo f2	LM 300 mm						
Pared f3	RE + CV + AT + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Pared f4	RE + CV + AT + LP 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Parámetros Acústicos							
	S_i (m ²)	$l_{i,a}$ (m)	$l_{i,a}$ (m)	m'_i (kg/m ²)	R_A (dBA)	$R_{A,tr}$ (dBA)	ΔR_A (dBA)
Sección Separador 1	19,4	-	-	157	56	51	0
Sección Separador 2	37,17	-	-	157	56	51	0
Suelo f1	114,1	8,2	14,87	750	67	-	7
Techo f2	114,1	8,2	14,87	750	67	-	0
Pared f3	20,5	2,5	-	156	42	-	8
Pared f4	37,175	2,5	-	156	42	-	8

Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.
Caso: Fachadas en esquina

Huecos en el separador					
		S (m ²)	R _{A,tr} (dBA)	R _A (dBA)	ΔR (dB)
Ventanas, puertas y lucernarios Fachada a	Hueco 1	8	30	34	-3
	Hueco 2	2	0	0	0
	Hueco 3	3	0	0	0
	Hueco 4	4	0	0	0
		S (m ²)	R _{A,tr} (dBA)	R _A (dBA)	ΔR (dB)
Ventanas, puertas y lucernarios Fachada b	Hueco 1	17,5	30	34	-3
	Hueco 2	6	0	0	0
	Hueco 3	7	0	0	0
	Hueco 4	8	0	0	0

Vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Vías de transmisión aérea Fachada a	transmisión directa I	D _{n,e1,Atr} (dBA)	40
	transmisión directa II	D _{n,e2,Atr} (dBA)	-
	transmisión indirecta	D _{n,s,Atr} (dBA)	-
Vías de transmisión aérea Fachada b	transmisión directa I	D _{n,e1,Atr} (dBA)	-
	transmisión directa II	D _{n,e2,Atr} (dBA)	-
	transmisión indirecta	D _{n,s,Atr} (dBA)	-

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	K _{Ff}	K _{Fd}	K _{Df}
Fachada a - suelo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	8,33	17,91	8,33
Fachada b - suelo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 4)	8,33	17,91	8,33
Fachada a - techo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	8,33	17,91	8,33
Fachada b - techo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 4)	5,70	5,70	5,70
Fachada a - pared	Unión de elementos homogéneos y fachadas ligeras (orientación 3)	10,03	5,00	10,03
Fachada b - pared	Unión de elementos homogéneos y fachadas ligeras (orientación 2)	10,03	5,00	10,03

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

Proyecto		
Autor		
Fecha		
Referencia		

Características técnicas de la fachada y edificio

Tipo de Ruido Exterior	Automóviles	L_d (dBA)	60				
Forma de fachada	Plano de Fachada	ΔL_{fs} (dB)	0				
Soluciones Constructivas							
Sección Separador	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F1	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F2	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F3	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F4	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Parámetros Acústicos							
	S_i (m ²)	l_i (m)	m'_i (kg/m ²)	$R_{A,tr}$ (dBA)	R_A (dBA)		
Sección Separador	42,3394	-	157	51	56	-	-
Sección Flanco F1	42,3394	14,75	157	51	56	-	-
Sección Flanco F2	42,3394	14,75	157	51	56	-	-
Sección Flanco F3	8,201	2,78	157	51	56	-	-
Sección Flanco F4	8,201	2,78	157	51	56	-	-

Características técnicas del recinto receptor

Tipo de Recinto	Cultural, sanitario, docente y administrativo Aulas	Volumen	315,61 m ³				
Soluciones Constructivas							
Sección Separador	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Suelo f1	LM 300 mm						
Techo f2	LM 300 mm						
Pared f3	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Pared f4	Enl 15 + LHD 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
Parámetros Acústicos							
	S_i (m ²)	l_i (m)	m'_i (kg/m ²)	R_A (dBA)	$R_{A,tr}$ (dBA)	ΔR_A (dBA)	
Sección Separador	42,3394	-	157	56	51	0	-
Suelo f1	113,53	14,75	750	67	-	7	-
Techo f2	113,53	14,75	750	67	-	0	-
Pared f3	8,201	2,78	157	56	-	0	-
Pared f4	8,201	2,78	127	40	-	8	-

Huecos en el separador

Ventanas, puertas y lucernarios		S (m ²)	$R_{A,tr}$ (dBA)	R_A (dBA)	ΔR (dB)
	Hueco 1	8,65	30	34	-3
	Hueco 2	3,507	30	32	-1
	Hueco 3	3	0	0	0
	Hueco 4	4	0	0	0



Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo en fachadas.

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

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	K_{Ff}	K_{Fd}	K_{Df}
fachada - suelo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	8,33	17,91	8,33
fachada - techo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 3)	8,33	17,91	8,33
fachada - pared	Unión rígida en + de elementos homogéneos	8,70	8,70	8,70
fachada - pared	Unión rígida en + de elementos homogéneos	8,75	7,17	8,75

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

Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.
Caso: Recintos adyacentes con 3 aristas comunes. Transmisión horizontal.

Proyecto		
Autor		
Fecha		
Referencia		

Características técnicas del recinto 1							
Tipo de recinto como emisor	Unidad de uso						
Tipo de recinto como receptor	-	Volumen	304,83 m ³				
Soluciones Constructivas							
Separador	Enl 15 + LH 70 + AT + LH 70 + Enl 15 (valores mínimos)						
Suelo F1	LM 300 mm						
Techo F2	LM 300 mm						
Pared F3	RE + LHO AD-P 120 + AT + YL 15						
Pared F4	RE + BC 240 + AT + LH 70 + Enl 15 (valores mínimos)						
Parámetros Acústicos							
	S _i (m ²)	l _i (m)	m' _i (kg/m ²)	R _A (dBA)	L _{n,w} (dB)	ΔR _A (dBA)	ΔL _w (dB)
Separador	19,9048	-	130	44	-	0	-
Suelo F1	114,1	4	750	67	63	0	0
Techo F2	114,1	4	750	67	63	0	0
Pared F3	14,63	2,78	190	46	-	5	-
Pared F4	14,63	2,78	74	34	-	-	-

Características técnicas del recinto 2							
Tipo de recinto como emisor	Unidad de uso						
Tipo de recinto como receptor	Habitable	Volumen	100 m ³				
Soluciones Constructivas							
Separador	Enl 15 + LH 70 + AT + LH 70 + Enl 15 (valores mínimos)						
Suelo f1	LM 300 mm						
Techo f2	LM 300 mm						
Pared f3	RE + LHO AD-P 120 + AT + YL 15						
Pared f4	Enl 15 + LH 70 + AT + LH 70 + Enl 15 (valores mínimos)						
Parámetros Acústicos							
	S _i (m ²)	l _i (m)	m' _i (kg/m ²)	R _A (dBA)	L _{n,w} (dB)	ΔR _A (dBA)	ΔL _w (dB)
Separador	19,9048	-	130	44	-	0	-
Suelo f1	40	4	750	67	63	9	27
Techo f2	40	4	750	67	63	5	5
Pared f3	12,5	2,78	190	46	-	5	-
Pared f4	10	2,78	130	44	-	0	0

Huecos en el separador y vías de transmisión aérea directa o indirecta			
Ventanas, puertas y lucernarios	superficie	S (m ²)	0
	índice de reducción	R _A (dBA)	0
Vías de transmisión aérea	transmisión directa	D _{n,e,A} (dBA)	0
	transmisión indirecta	D _{n,s,A} (dBA)	0



Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.
Caso: Recintos adyacentes con 3 aristas comunes. Transmisión horizontal.

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	K_{Ff}	K_{Fd}	K_{Df}
separador - suelo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 2)	-1,73	9,00	9,00
separador - techo	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 1)	-1,73	9,00	9,00
separador - pared	Unión en T de doble hoja y elementos homogéneos, (orientación 1)	0,00	11,88	11,88
separador - pared	Unión en T de doble hoja y elementos homogéneos, (orientación 4)	12,06	12,06	0,00

Transmisión del recinto 1 al recinto 2				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{nT,A}$ (dBA)	45	45	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	$L'_{nT,w}$ (dB)	46	-	

Transmisión del recinto 2 al recinto 1				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	$D_{nT,A}$ (dBA)	50	50	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	$L'_{nT,w}$ (dB)	21	65	CUMPLE

9 ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS

Gráficas de fondo

Se han representado los valores de nivel de presión de fondo en decibelios frente a la frecuencia tomados en distintas posiciones. De ellos destacar su tendencia decreciente cuando aumenta la frecuencia, y en las medidas correspondientes a las posiciones 2 y 1 en torno a las frecuencias de 1000 Hz, además de otro pico en las posición 4 y 5 en 500 Hz. Estas variaciones probablemente se deban a influencias externas como el ruido exterior de tráfico y el viento, los conductos de ventilación del edificio, el tránsito de personas por los pasillos y las clases que estaban siendo impartidas en las aulas adyacentes.

Las curvas de referencia Noise Criteria, NC

Las curvas de referencia Noise Criteria NC establecen los niveles máximos de ruido que pueden estar llegando a un aula, para que las actividades de clase se desarrollen adecuadamente. Representando esas curvas y el ruido de fondo se puede establecer por comparación a qué nivel corresponde el aula, puede observarse que se trata de un NC-30 al encontrarse el nivel promedio de fondo por debajo de esa curva.

Estudio por particiones

Se han denominado a las particiones de la siguiente manera:

Partición	Local emisor	Local receptor
A	Pasillo	aula
B	Patio de luces	aula
C	Fachada 1	aula
D	Fachada 2	aula

Se ha representado para cada una de ellas los promedios de nivel de fondo B2, el nivel L1 en el local emisor y el nivel L2 en el local receptor (aula).

Análisis y conclusión de los resultados obtenidos del cálculo de ruido de impacto

Se aprecia en la gráfica que cumple con lo requerido al dar como resultado 54db., estando por debajo del máximo que sería 65db.

D_{n,T} Aislamiento acústico normalizado

Partiendo del promedio de niveles L2 y B2 se calcula el nivel L2 corregido de la siguiente manera:

$$L_2^{corr} = L_2 \oplus B_2 = 10 \cdot \log \left\{ 10^{\frac{L_2}{10}} + 10^{\frac{B_2}{10}} \right\}$$

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

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

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

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

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

Al calcular la absorción por Sabine se observa que a bajas frecuencias se obtienen valores muy elevados, debidos a que en ellas los paramentos de pladur absorben al tratarse de un material poroso. A frecuencias más altas, va disminuyendo la absorción.

10 ANEXOS

Publicación de las fotos realizadas durante la realización de mediciones en el Aula 1 (Tribunal), edificio nuevo de la facultad E.T.S.I.E.

Zonas estudiadas Interiores

- Aula 1

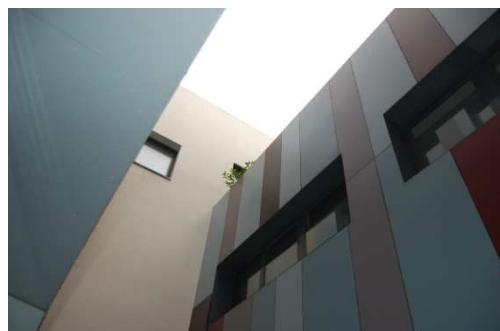


- Distribuidor



Zonas estudiadas Exteriores

- Patio de luces



- Fachada 1

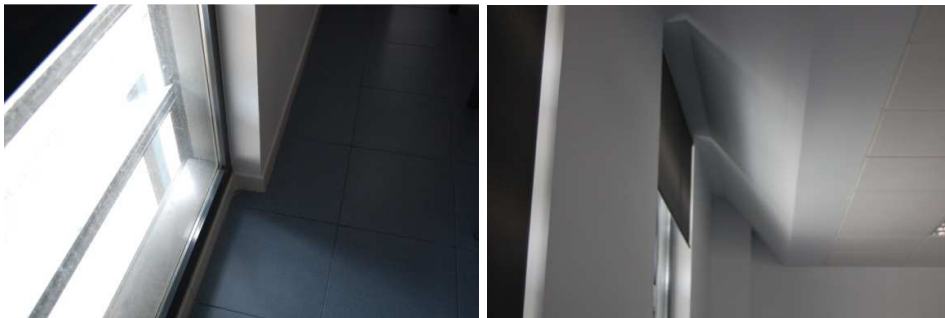


- Fachada 2

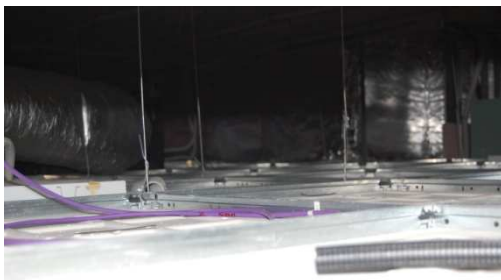
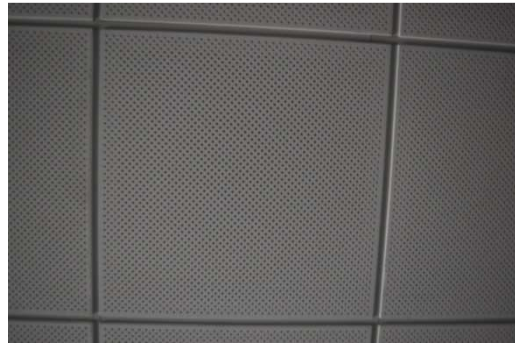


Puntos singulares del aula

- Ventanales y sus acabados



- Falso techo



- Puerta principal y puerta interior



11 BIBLIOGRAFÍA

- Diseño acústico de espacios arquitectónicos. *Antonio Carrión Isbert*. Ediciones UPC. 1998
- Libro de Diseño Acústico de espacios Arquitectónicos. *Antoni Carrión*.
- Apuntes intensificación acústica. *Ignacio Guillén Guillamón, Vicente Gómez Lázaro*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Acústica arquitectónica y urbanística. *J. Linares, A. Llopis, J. Sancho*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Guía acústica de la construcción. *Francisco Javier Rodríguez Rodríguez, Javier de la Puente Crespo*. Editorial Dossat.
- ABC de la acústica arquitectónica. *Higini Arnau*. Ediciones Ceac.
- Acústica arquitectónica aplicada. *Manuel Recuerdo López*. Paraninfo.
- NBE CA-88 – Condiciones Acústicas en los Edificios.
- CTE: DB-HR – Protección frente al ruido.
- Ordenanza de ruidos y vibraciones de Valencia.
- RD-1367- Ley del ruido desarrollo.
- Ley 7/2002 G.V. Contaminación acústica.
- <http://www.archiexpo.es>
- <http://www.casabioclimatica.com>
- <http://www.uco.es/>
- <http://www.upv.es/>
- <http://fisicaytecnologia.wikispaces.com>
- <http://www.lpi.tel.uva.es>