

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
**INGENIERÍA DE  
EDIFICACIÓN**

# **CALIDAD ACÚSTICA EN EL AULA 1 (TRIBUNAL) DEL EDIFICIO 1C DE LA UPV**

**PROYECTO FINAL DE GRADO  
GRADO EN INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN**

**MODALIDAD: CIENTÍFICO-TÉCNICO**

Alumno:  
**D. JAVIER LOZANO IÑIGUEZ**

Dirigido por:  
**D. VICENTE GÓMEZ LOZANO  
D<sup>a</sup>. SALVADORA REIG GARCÍA-SAN PEDRO**

Valencia, Marzo 2012

# ÍNDICE GENERAL

<i>Índice de figuras</i>	I
<i>Índice de gráficas</i>	II
<i>Índice de tablas</i>	III
<i>Notación</i>	IV
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>01</b>
<b>1.1. TEMA</b>	<b>01</b>
<b>1.2. MOTIVO</b>	<b>01</b>
<b>1.3. OBJETIVO</b>	<b>01</b>
<b>2. CARACTERÍSTICAS DEL RECINTO</b>	<b>02</b>
<b>3. CONCEPTOS BÁSICOS DE ACÚSTICA</b>	<b>06</b>
<b>4. MATERIALES ACÚSTICOS</b>	<b>09</b>
<b>5. NORMATIVA DE APLICACIÓN</b>	<b>12</b>
<b>6. EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS</b>	<b>14</b>
<b>7. METODOLOGÍA EMPLEADA</b>	<b>22</b>
<b>7.1. RUIDO AÉREO</b>	<b>22</b>
<b>7.2. RUIDO DE IMPACTO</b>	<b>30</b>
<b>7.3. TIEMPO DE REVERBERACIÓN</b>	<b>32</b>
<b>8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	<b>34</b>
<b>8.1. RUIDO AÉREO</b>	<b>34</b>
<b>8.2. RUIDO DE IMPACTO</b>	<b>44</b>
<b>8.3. TIEMPO DE REVERBERACIÓN</b>	<b>46</b>
<b>9. FICHAS JUSTIFICATIVAS CTE DB-HR</b>	<b>48</b>
<b>10. MEDIDAS A ADOPTAR</b>	<b>55</b>
<b>11. CONCLUSIONES</b>	<b>57</b>
<b>12. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO I. TOMA DE DATOS Y CÁLCULOS</b>	<b>62</b>

<b>Figura 1.</b> Plano de situación del edificio 1C dentro de la UPV	<b>02</b>
<b>Figura 2.</b> Vista exterior nuevo edificio ETSIE – Fachadas 1 y 2	<b>02</b>
<b>Figura 3.</b> Plano del aula 1	<b>03</b>
<b>Figura 4.</b> Vista interior aula 1	<b>04</b>
<b>Figura 5.</b> Posición del orador en el aula 1	<b>04</b>
<b>Figura 6.</b> Detalle exterior Fachada 1	<b>05</b>
<b>Figura 7.</b> Vista de las escaleras y pasillo	<b>05</b>
<b>Figura 8.</b> Sonómetro integrador utilizado, Brüel & Kjaer 2238 Mediator	<b>14</b>
<b>Figura 9.</b> Vista de la pantalla del sonómetro integrador utilizado	<b>15</b>
<b>Figura 10.</b> Micrófono de condensador prepolarizado Brüel & Kjaer 4188	<b>16</b>
<b>Figura 11.</b> Hoja de especificaciones y datos de interés del micrófono Brüel & Kjaer	<b>16</b>
<b>Figura 12.</b> Fuente de ruido Brüel & Kjaer 4224	<b>17</b>
<b>Figura 13.</b> Cuadro de mando de la fuente	<b>17</b>
<b>Figura 14.</b> Máquina de impactos	<b>18</b>
<b>Figura 15.</b> Máquina de impactos, vista de los taladros	<b>18</b>
<b>Figura 16.</b> Pantalla de inicio del software Dirac 3.0	<b>19</b>
<b>Figura 17.</b> Captura de pantalla del software Dirac 3.0 en funcionamiento	<b>19</b>
<b>Figura 18.</b> Acondicionador de señal, mini portátil y micrófono de condensador	<b>20</b>
<b>Figura 19.</b> Preamplificador, de la marca Endevco	<b>21</b>
<b>Figura 20.</b> Amplificador GA-610D	<b>21</b>
<b>Figura 21.</b> Posiciones medición nivel de fondo ( $B_2$ ) en el aula 1	<b>22</b>
<b>Figura 22.</b> Medición ruido aéreo partición A	<b>24</b>
<b>Figura 23.</b> Vista desde el pasillo hacia la puerta de entrada del aula 1	<b>25</b>
<b>Figura 24.</b> Posiciones medición ruido aéreo partición B	<b>25</b>
<b>Figura 25.</b> Fotografía del patio de luces	<b>26</b>
<b>Figura 26.</b> Índice de ruido día $L_D$ . Situación en el mapa estratégico de ruido	<b>27</b>
<b>Figura 27.</b> Posición de la fuente de ruido para mediciones a ruido aéreo de fachada	<b>29</b>
<b>Figura 28.</b> Posiciones medición ruido aéreo particiones C y D	<b>29</b>
<b>Figura 29.</b> Posición de la máquina de impactos	<b>31</b>
<b>Figura 30.</b> Curva de decaimiento de 30dB en el aula 1, para todas las frecuencias	<b>46</b>
<b>Figura 31.</b> Plano planta aula 1	<b>48</b>
<b>Figura 32.</b> Solución doble puerta para aumentar el aislamiento aula 1 – pasillo	<b>55</b>

<b>Gráfica 1.</b>	Nivel de fondo del aula 1 en las distintas posiciones de medida	<b>34</b>
<b>Gráfica 2.</b>	Niveles de presión y de fondo, partición A. Emisor L1: pasillo	<b>35</b>
<b>Gráfica 3.</b>	Niveles de presión y de fondo, partición B. Emisor L1: patio de luces	<b>35</b>
<b>Gráfica 4.</b>	Niveles de presión y de fondo, partición C. Emisor L1: Calle fachada 1	<b>36</b>
<b>Gráfica 5.</b>	Niveles de presión y de fondo, partición D. Emisor L1: Calle fachada 2	<b>36</b>
<b>Gráfica 6.</b>	Evaluación del ruido de fondo para el aula 1, mediante curvas NC	<b>37</b>
<b>Gráfica 7.</b>	Aislamiento acústico normalizado $D_{nT}$ y global $D_{nT,w}$ para la partición A	<b>39</b>
<b>Gráfica 8.</b>	Aislamiento acústico normalizado $D_{nT}$ y global $D_{nT,w}$ para la partición B	<b>40</b>
<b>Gráfica 9.</b>	Aislamiento acústico normalizado $D_{2m,nT}$ y global $D_{2m,nT,w}$ para partición C	<b>41</b>
<b>Gráfica 10.</b>	Aislamiento acústico normalizado $D_{2m,nT}$ y global $D_{2m,nT,w}$ para partición D	<b>42</b>
<b>Gráfica 11.</b>	Aislamiento acústico normalizado $D_{nT}$ para cada partición	<b>43</b>
<b>Gráfica 12.</b>	Espectro de $L'_{nT}$ y nivel global de ruido de impactos $L'_{nT,w}$	<b>45</b>
<b>Gráfica 13.</b>	Curva tonal $T_{r30}$ del aula 1	<b>47</b>

<b>Tabla 1.</b> Asignación de nombres para las mediciones “in situ”	<b>03</b>
<b>Tabla 2.</b> Frecuencias a evaluar	<b>23</b>
<b>Tabla 3.</b> Tabla 2.1 del CTE DB-HR, aislamiento acústico a ruido aéreo exterior	<b>28</b>
<b>Tabla 4.</b> Valores de referencia Noise Criteria (NC)	<b>37</b>
<b>Tabla 5.</b> Valores obtenidos a ruido aéreo para la partición A, pasillo - aula 1	<b>38</b>
<b>Tabla 6.</b> Valores obtenidos a ruido aéreo para la partición B, patio de luces - aula 1	<b>40</b>
<b>Tabla 7.</b> Valores obtenidos a ruido aéreo para la partición C, fachada 1 - aula 1	<b>41</b>
<b>Tabla 8.</b> Valores obtenidos a ruido aéreo para la partición D, fachada 2 - aula 1	<b>42</b>
<b>Tabla 9.</b> Valores obtenidos a ruido de impacto	<b>44</b>
<b>Tabla 10.</b> Valores obtenidos del tiempo de reverberación por frecuencias	<b>46</b>
<b>Tabla 11.</b> Resumen del cumplimiento del CTE DB-HR del aula 1	<b>55</b>

$\alpha$ : Coeficiente de absorción acústica

$\alpha_m$ : Absorción media para las frecuencias 500, 1000 y 2000Hz

A: Área de absorción acústica equivalente de un recinto, [m<sup>2</sup>]

$B_2$ : Nivel de ruido de fondo en el recinto receptor, [dB]

C: Término de adaptación espectral del índice de reducción acústica para ruido rosa incidente, [dB]

$C_{tr}$ : Adaptación espectral del índice de reducción acústica para ruido de tráfico urbano, [dB]

D: Diferencia de niveles entre recintos, [dB]

$D_{nT}$ : Diferencia de niveles estandarizada entre recintos interiores, [dB]

$D_{nT,w}$ : Diferencia global de niveles estandarizada, [dB]

$D_{nT,A}$ : Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, entre recintos interiores, [dBA]

$D_{2m,nT}$ : Diferencia de niveles estandarizada en fachadas, [dB]

$D_{2m,nT,Atr}$ : Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas, para ruido de tráfico, [dBA]

$L_1$ : Nivel de presión sonora en el recinto emisor, [dB]

$L_{1,2m}$ : Nivel de presión sonora medio exterior a 2m frente a la fachada, [dB]

$L_2$ : Nivel de presión sonora en el recinto receptor, [dB]

$L_{2\text{corregido}}$ : Nivel de presión sonora en el recinto receptor, corregido por ruido de fondo, [dB]

$L_{SB}$ : Nivel combinado de  $L_2$  y ruido de fondo en el recinto receptor, [dB]

$L'_n$ : Nivel de presión de ruido de impactos normalizado medido in situ, [dB]

$L'_{nT}$ : Nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, [dB]

$L'_{nT,w}$ : Nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado, [dB]

$R_w$ : Índice global de reducción acústica, [dB]

$R_A$ : Índice global de reducción acústica de un elemento, ponderado A, [dBA]

$T_2$ : Tiempo de reverberación en el recinto receptor, [s]

$T_0$ : Tiempo de reverberación de referencia, [s]

$T_{Rmid}$ : Tiempo de reverberación medio para las frecuencias 500, 1000 y 2000Hz, [s]

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. TEMA

En este Proyecto de Fin de Grado, que tiene por título “Calidad acústica en el Aula 1 (Tribunal) del edificio 1C de la UPV”, determinaremos si el Aula 1 (Tribunal) del nuevo edificio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Edificación de la Universidad Politécnica de Valencia, es adecuada desde el punto de vista acústico y según la normativa vigente, para el uso de docencia al cual está destinado.

## 1.2. MOTIVO

La elección de este tema ha sido debido a su gran utilidad para el acondicionamiento acústico tanto de nuevos edificios como en edificios existentes, ya que el entorno en el que habitamos es cada vez más ruidoso y hay que ajustarse a la normativa existente, la cual a su vez se va endureciendo.

Me parece interesante la aplicación en las aulas, ya que es un buen punto de partida para en un futuro poder hacer lo propio también en auditorios, teatros, locales de ocio, talleres y demás, ajustándose en cada caso a las necesidades requeridas según el tipo de recinto a acondicionar, ya que no en todas se tienen en cuenta los mismos factores.

En un principio íbamos a estudiar un aula en el edificio antiguo de la ETSIE, pero por la imposibilidad de medir en él debido a las molestias que ello conllevaba para la docencia que allí se imparte, se decidió elegir un aula del edificio nuevo, y esta aula, dadas sus características, nos pareció apropiada para su estudio.

El estudio de la acústica es de suma importancia durante el diseño de un recinto, y en las aulas docentes lo es especialmente por la necesidad de crear unas condiciones adecuadas para la docencia. Un aula con mala acústica suele generar situaciones inadecuadas para la correcta realización de las actividades docentes, pero como podemos ver, un buen estudio y diseño del recinto nos permite mejorar sus condiciones, optimizándolo para su debido uso.

## 1.3. OBJETIVO

Para disponer de un buen acondicionamiento acústico en el aula, tendremos en cuenta el ruido ambiente, la transmisión de ruido entre el aula y los recintos adyacentes y posibles ruidos externos, así como la reverberación dentro del aula, para poder transmitir los mensajes de la forma más clara e inteligible posible, garantizando un confort acústico.

Sobre mediciones in situ realizaremos un informe acústico, confrontando el análisis de los resultados con los requerimientos del CTE DB-HR. Sobre este análisis realizaremos una propuesta de intervención acústica interior, en caso necesario, dando soluciones para su acondicionamiento acústico idóneo, según los resultados obtenidos.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL RECINTO

El edificio 1C de la Universidad Politécnica de Valencia corresponde al nuevo construido para la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Se proyectó en 2005 con la intención de ampliar sus instalaciones y se ubicó al lado del edificio antiguo (1B), como podemos ver en la figura 1.



Figura 1. Plano de situación del edificio 1C dentro de la UPV

En la figura 2, vemos el aspecto exterior del nuevo edificio, que siendo de carácter docente-administrativo, reúne en sus instalaciones tanto aulas como laboratorios, salas de reuniones y despachos, entre otros.



Figura 2. Vista exterior nuevo edificio ETSIE – Fachadas 1 y 2

El recinto a evaluar dentro de este edificio es el aula 1 (Tribunal), que a partir de ahora nos referiremos a ella como aula 1, está situada en la primera planta y destinada tanto a la docencia como a la defensa de proyectos de fin de carrera. El CTE DB-HR clasifica las aulas docentes como recintos habitables y protegidos. Los recintos protegidos requieren un mayor aislamiento. Evaluaremos los resultados de la toma de medidas “in situ” a ruido aéreo entre locales y exterior de fachadas, ruido de impacto y tiempo de reverberación.

Como vemos en la figura 3, el aula presenta una forma rectangular. Dos de sus caras recaen a fachada, en esquina, mientras que otra da a las escaleras que atraviesan todo el edificio y la restante a un patio de luces y al pasillo. Tiene un volumen total de  $320,78m^3$ , una superficie total de  $356,34m^2$  y un área de  $115,39m^2$ , con una altura de  $2,78m$ .

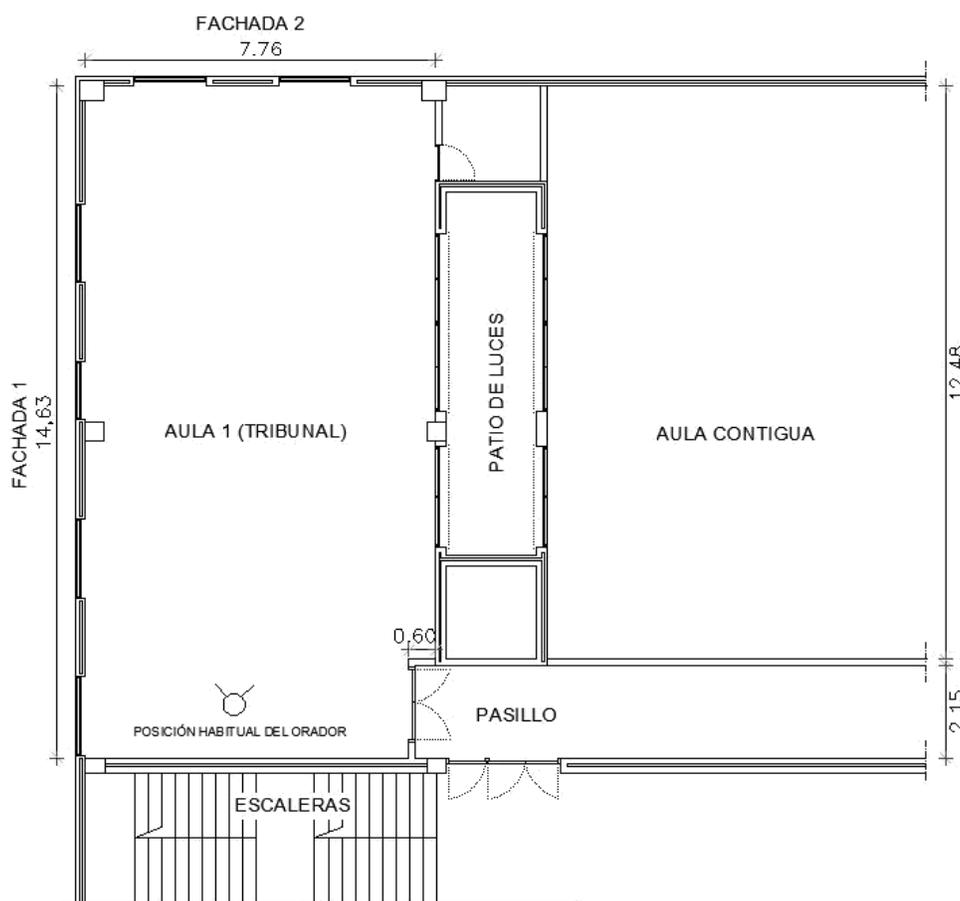


Figura 3. Plano del aula 1

Como referencia para la toma de datos y los cálculos, asignamos un nombre a cada partición de la siguiente manera:

Tabla 1. Asignación de nombres para las mediciones “in situ”

Partición A	Pasillo y escaleras
Partición B	Patio de luces
Partición C	Fachada 1
Partición D	Fachada 2

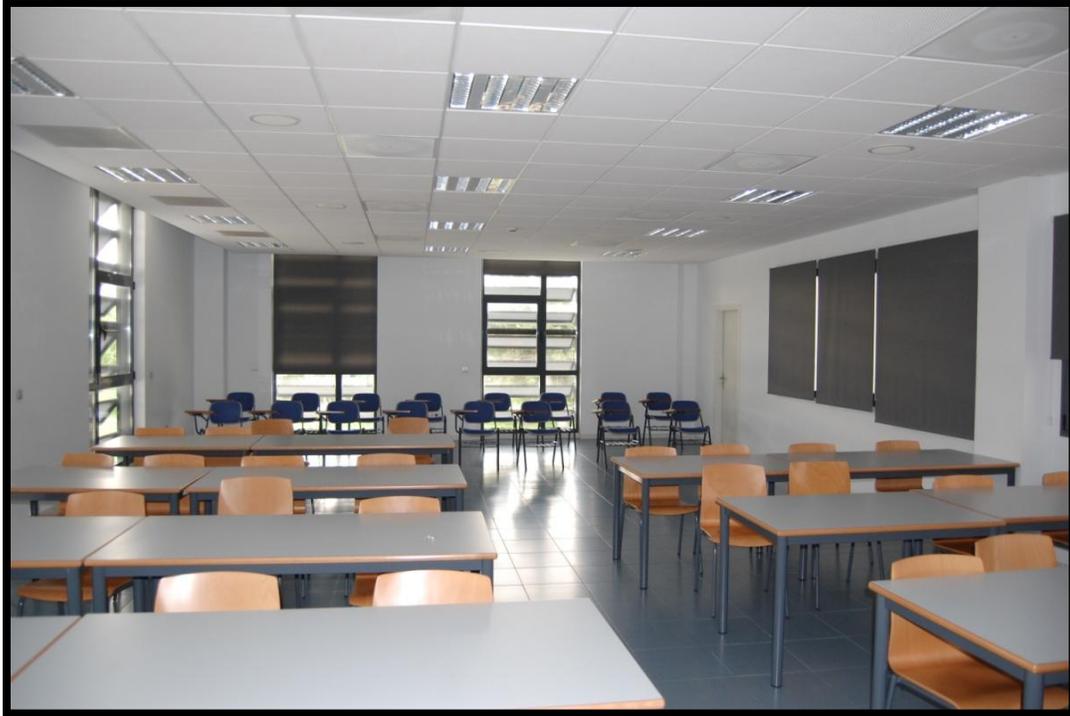


Figura 4. Vista interior aula 1

La forma principal de transmitir el mensaje en esta aula es mediante la comunicación hablada, pero en ella también se utilizan otros medios audiovisuales como es el ordenador o el micrófono. Vemos, en las figuras 4 y 5, cómo el aula tiene todo el mobiliario necesario, dato que se tendrá en cuenta a la hora de las mediciones.



Figura 5. Posición del orador en el aula 1

La fachada es ventilada, y dispone de ventanas de doble acristalamiento con cámara de aire, las cuales mejoran sustancialmente el aislamiento respecto a las normales.

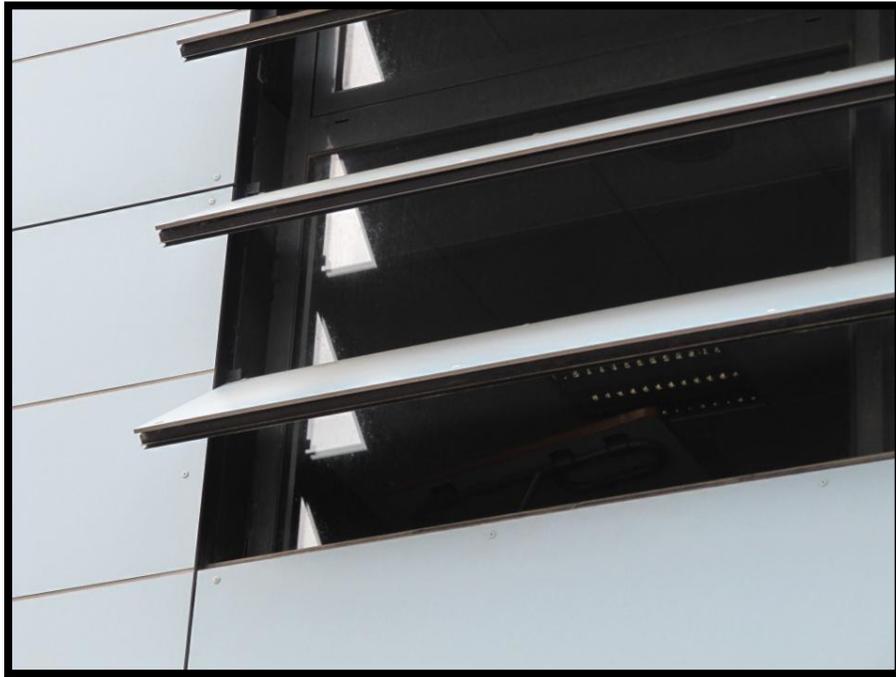


Figura 6. Detalle exterior Fachada 1

Las escaleras y el pasillo pueden quedar separados mediante puertas.



Figura 7. Vista de las escaleras y pasillo

### 3. CONCEPTOS BÁSICOS DE ACÚSTICA

Para enfrentarnos al estudio del aula y conseguir un adecuado confort acústico, mediante un buen aislamiento y acondicionamiento acústico, necesitamos saber los conceptos básicos de acústica. A continuación, pasamos a repasar estos conceptos básicos, fundamentales para entender este proyecto.

La **acústica** estudia las cuestiones relativas al sonido, especialmente la generación y recepción de las ondas sonoras.

La **acústica arquitectónica** estudia los fenómenos vinculados con una propagación adecuada y funcional del sonido en un recinto.

El **aislamiento acústico** implica impedir que los sonidos generados dentro del mismo recinto trasciendan hacia el exterior y viceversa, haciendo que los ruidos externos no se perciban desde su interior.

El objetivo del **acondicionamiento acústico** de un recinto es conseguir un grado de difusión acústica uniforme en todos los puntos del mismo, mejorando así las condiciones acústicas de sonoridad aumentando el confort acústico interno del local. Es gracias al profesor W. C. Sabine, quien fue pionero en 1895. Sabine definió entonces que las propiedades acústicas de un recinto están determinadas por la proporción de energía sonora absorbida por paredes, techos, suelos y objetos, y que la proporción de sonido absorbido está ligado al tiempo que un sonido emitido en el local desaparezca después de suprimir el foco sonoro.

El **tiempo de reverberación** mide la velocidad a la que decae un sonido en un ambiente cerrado en un tiempo. Depende del volumen del local y de los materiales superficiales interiores de paredes, techo y suelo. El tiempo de reverberación aumenta con el tamaño del local, y puede producir sonidos de difícil comprensión, ininteligibles.

Por **campo sonoro** se entiende el valor que adquiere la presión sonora en cada punto del espacio. A los efectos del análisis, el campo sonoro se divide en dos componentes: el campo directo y el campo reverberante. El campo directo contiene la parte del sonido que acaba de ser emitido por la fuente, y que por lo tanto aún no experimentó ninguna reflexión, y el campo reverberante, en cambio, incluye el sonido después de la primera reflexión.

La **absorción acústica**: las superficies de un recinto reflejan sólo parcialmente el sonido que incide sobre ellas; el resto es absorbido. Según el tipo de material o recubrimiento de una pared, ésta podrá absorber más o menos el sonido.

La **reverberación** y el **eco** son fenómenos producidos por la reflexión del sonido, pero la reverberación la percibimos como una prolongación del sonido, mientras que el eco como una repetición del mismo. Para el tiempo de reverberación se tiene en cuenta el sonido directo y el reflexionado.

La **inteligibilidad** es el porcentaje de palabras correctamente interpretadas por el oyente. Se aconseja en general, que el índice de inteligibilidad sea superior al 80%. La inteligibilidad está relacionada con el tiempo de reverberación  $T_R$  y con el ruido de fondo BNL. En las aulas es de vital importancia y lo tendremos muy en cuenta para el acondicionamiento acústico de ésta.

El **sonido** se caracteriza por la frecuencia con la que se propagan las ondas y por la intensidad de las mismas. El sonido audible por el oído humano se define como ondas sonoras, que son oscilaciones de la presión del aire, convertidas en ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro.

El **timbre** es la cualidad mediante la cual podemos distinguir dos sonidos de igual intensidad e idéntico tono que han sido emitidos por focos sonoros diferentes.

El **tono** es una cualidad mediante la cual distinguimos los sonidos graves de los agudos, de forma que la sensación sonora aguda procede de sonidos producidos por focos sonoros que vibran a frecuencias elevadas, mientras que la sensación sonora grave procede de sonidos producidos por focos sonoros que vibran a frecuencias bajas.

La **intensidad** es el volumen (**amplitud**) del sonido, y nos permite distinguir entre sonidos fuertes y suaves. Esta intensidad mide en nivel de presión sonora en (dB), esta presión es la que ejerce la onda de sonido sobre las partículas del medio por el que se propaga. Una intensidad alta del sonido puede resultar incluso perjudicial para la salud humana. El umbral del dolor se puede situar entre los 120-130dB, mientras que el de la audición se sitúa en 0dB. Una exposición prolongada a sonidos por encima del umbral del dolor puede llegar a producir lesiones irreversibles en el oído humano.

La **potencia** (W) es la energía emitida por la fuente acústica por unidad de tiempo.

El **nivel de potencia acústica** (LW) es un parámetro que mide la forma en que es percibida la potencia acústica, es decir, el volumen. La percepción de la potencia es una sensación que es proporcional al logaritmo de esa potencia.

La **frecuencia** es el número de repeticiones de cualquier suceso periódico en un segundo. Para calcular la frecuencia de un evento, se cuenta el número de veces que ocurre en un periodo de tiempo, y seguidamente se dividen estas repeticiones por el tiempo transcurrido. La unidad utilizada para medir la frecuencia es el Hercio (Hz). El oído humano puede llegar a percibir frecuencias desde 20Hz hasta 20.000Hz.

El oído humano es sensible a las frecuencias y su nivel de presión sonora, pudiéndose recrear su respuesta mediante la **ponderación de frecuencia**, siendo el filtro “A” el que simula como se perciben desde el punto de vista de los seres humanos. Si quisiéramos medir los dB sin correcciones, habría que hacerlo en “lineal”. También se pueden obtener los dBA midiendo en “lineal”, si después hacemos una corrección para cada frecuencia.

**Bandas de octava.** La octava es un intervalo de frecuencias para el oído. Tres bandas de un tercio de octava forman una octava y la resolución de este tipo de espectro es tres veces mejor que la del espectro de la banda de octava.

Podemos llamar **ruido** a los sonidos que no son deseados. Por poner un ejemplo, alguien puede estar escuchando música en su casa a cierto volumen elevado, y serle agradable al usuario, pero puede que al vecino le parezca ruido, pues en ese momento le molesta y no lo percibe de la misma manera.

En los edificios existen dos **fuentes de ruido** principales, y que serán objeto de nuestro estudio, que serán contra los que vamos a aislar, son las siguientes:

- Fuentes de ruido aéreo externas o internas.
- Fuentes de ruido de impacto y vibraciones.

Entre las fuentes de **ruido aéreo** externas se encuentra el ruido de tráfico, mientras que internas pueden ser producidas, entre otros, por personas, radio, TV, electrodomésticos, ruido de maquinaria.

Las fuentes de **ruido de impacto** pueden ser pisadas, arrastre de sillas o caídas de objetos, por ejemplo. Y las **vibraciones** pueden ser producidas por maquinaria e instalaciones del edificio, como aparatos de aire acondicionado, grupos de presión, ascensor o puerta de garaje, entre otros.

Llamamos **ruido de fondo** al que se percibe en un recinto cuando no se está realizando ningún tipo de actividad en él. Este ruido puede provenir de las mismas instalaciones del edificio o cualquiera de los tipos de ruido descritos.

El **ruido blanco** es una señal que contiene todas las frecuencias con la misma intensidad. Su espectro en tercios de octava es una recta de pendiente 3 dB por octava.

El **ruido rosa** tiene un espectro plano, medido en bandas de tercios de octava. Es por ello que es el que utilizaremos para hacer las mediciones acústicas. Se utilizan tercios de octava ya que es a partir de ahí cuando el oído es capaz de detectar irregularidades en la respuesta en frecuencia.

## 4. MATERIALES ACÚSTICOS

Según donde queramos colocar el aislamiento acústico, ya sea en paredes, techos o suelos, hay distintos materiales especiales que amortiguan el sonido, dificultando al máximo su propagación. Estos materiales evitan que entren tanto los sonidos desde el exterior como que el sonido del interior de la sala aislada se escuche en el exterior.

Existen sistemas de aislamiento acústico para altas, medias y bajas frecuencias, tanto para paredes como para techos y suelos.

El aislamiento acústico permite insonorizar una sala de forma que no le lleguen sonidos del tráfico, ruidos, golpes, voces o música desde el exterior. Es útil en cualquier aula para trabajar con tranquilidad sin molestias, o para eliminar incómodos sonidos procedentes de tuberías, ascensores o maquinaria en general.

La elección de los materiales más adecuados a utilizar como revestimientos es esencial para la obtención de un buen diseño acústico de un recinto.

Dependiendo a que se destinen los espacios a diseñar, resulta necesario potenciar la aparición de primeras reflexiones, conseguir una buena difusión del sonido o por el contrario conseguir la absorción del sonido. Todos los materiales absorben la energía sonora en mayor o menor medida. En todos los casos, una parte de la energía sonora que incide sobre el material se transforma en calor y se restituye el resto.

Así pues, podríamos clasificar los materiales acústicos según los efectos que producen sobre la energía sonora:

**a) Absorbentes**, que son los que actúan sobre la componente del sonido reflejado:

- Porosos
- Reflexivos
- Resonadores
- Mixtos

**b) Aislantes**, que son los que disminuyen la energía sonora:

- Paneles multicapa
- Membrana acústica
- Láminas anti-impacto
- Placas de fibras minerales
- Antivibratorios
- Pinturas absorbentes

Pasamos a ver un poco más en detalle cada uno de estos materiales:

### **Materiales acústicos absorbentes:**

- Materiales fibrosos y materiales con poros abiertos:

Estos materiales presentan una multitud de pequeñas cámaras de aire que comunican entre sí. Las ondas sonoras pueden penetrar fácilmente y propagarse en estos intersticios. El aire contenido en el material es puesto en movimiento. Entonces una parte de la energía acústica se transforma en calor por el frotamiento del aire sobre las partes sólidas. La absorción por los materiales fibrosos es más alta para las frecuencias agudas que para las frecuencias bajas. La absorción para las frecuencias agudas es prácticamente independiente del espesor del material. Mientras que la absorción para las frecuencias bajas aumenta cuando aumenta el espesor.

- Materiales reflexivos (membranas):

Las frecuencias absorbidas son tanto más graves cuanto más pesado y grueso sea el tablero y cuanto mayor sea la distancia al muro. El campo de absorción de un tablero reflexivo aumenta situando detrás una manta fibrosa o porosa, encolada o no sobre el tablero.

- Resonadores:

Como su propio nombre indica, producen la absorción de energía acústica mediante un proceso de resonancia. El movimiento resonante de una parte del sistema extrae energía del campo acústico, de manera selectiva y preferente, en una banda de frecuencias determinada. Pueden utilizarse de forma independiente, o bien, como complemento a los materiales absorbentes. Se presentan en forma de placas con una serie de perforaciones en su superficie.

Los resonadores presentan elevados valores de absorción acústica en un estrecho rango de frecuencias, por lo que se emplean cuando se desea corregir la absorción acústica de un recinto a dichas frecuencias. En el caso de rellenar la cavidad con materiales absorbentes porosos pierden parte de su eficacia a su frecuencia de diseño ampliándose el rango de eficacia.

- Mixtos:

Los materiales anteriores se pueden combinar para absorber varias frecuencias a la vez, ya que las fibras principalmente absorben las frecuencias agudas, mientras que las membranas absorben las frecuencias graves y los resonadores las frecuencias medias.

## **Materiales aislantes acústicos:**

La función de los materiales aislantes acústicos es reflejar la mayor parte de la energía que reciben. Rinden mejor cuanto más pesados, flexibles y continuos son. Se utilizan para atenuar el paso del ruido entre ambientes distintos en suelos, paredes y techos

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

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

Materiales aislantes más usuales:

**Paneles multicapa:**

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

**Membrana acústica:**

Son láminas de asfalto modificadas para conseguir un mayor rendimiento acústico. Su gran densidad y plasticidad le permiten actuar como sustituto de las planchas de plomo, cuyo uso está prohibido actualmente, permitiendo una gran atenuación del ruido de baja frecuencia producido por la resonancia entre paneles de yeso laminar.

**Láminas anti-impacto:**

Láminas flexibles de polietileno reticulado no espumado. Se utilizan sobre el forjado, antes de verter la solera o recocado de mortero, para atenuar el ruido de impacto en viviendas, hospitales, hoteles y en general en todo tipo de edificio.

**Placas de fibras minerales:**

Se utilizan como paneles absorbentes en cámaras de aire y trasdosados. Destacan la lana de roca, lana de vidrio y fibras de amianto.

**Antivibratorios:**

Productos para reducción de las vibraciones de máquinas, cerramientos, etc

**Pinturas absorbentes:**

De colorido variado tienen una eficacia débil y sobre todo en los agudos.

## 5. NORMATIVA DE APLICACIÓN

El edificio fue proyectado en el año 2005, y se diseñó acústicamente teniendo en cuenta la normativa de entonces, la NBE CA-88 “Condiciones acústicas en los edificios”. Desde entonces el Documento Básico HR “Protección frente al ruido”, del Código Técnico de la Edificación, ya ha substituido a la NBE CA-88 “Condiciones acústicas en los edificios”.

Al implantarse, hubo una coexistencia de ambas normativas durante un año y medio, en el que se podía elegir si cumplir con la NBE CA-88 o el CTE DB-HR indistintamente, hasta que finalmente en abril de 2009 se implantó el CTE definitivamente, quedando derogada la NBE CA-88.

Los valores que se introdujeron en el CTE son más elevados que en la NBE, y mientras la NBA CA-88 se basaba en exigencias en laboratorio, el CTE DB-HR se basa en exigencias prestacionales.

Los cambios más importantes con respecto a la anterior norma son los siguientes:

- Las exigencias de aislamiento acústico entre recintos y respecto al exterior se expresan mediante nuevos parámetros.
- Estos parámetros permiten comprobar en obra el cumplimiento de las exigencias.
- Se incrementan los valores de aislamientos acústicos mínimos exigidos.
- Establece la opción simplificada y la general para el diseño y dimensionado en fase de proyecto de los elementos constructivos.
- Introduce la necesidad de adecuar los tiempos de reverberación de aulas y salas de conferencias, de volumen inferior a  $350m^3$ , como es nuestro caso.
- Debe haber techo suspendido en las estancias donde se albergan las instalaciones.
- Establece requisitos de diseño y ejecución, tanto de los elementos constructivos como de la ejecución de las instalaciones, para garantizar el correcto aislamiento acústico y evitar la transmisión de ruido y vibraciones. Seguiremos estos requisitos en aquellos casos en los que el aula no cumpla la normativa.

Como novedad, en el CTE DB-HR aparece el acondicionamiento acústico, que no venía en la anterior norma. Además permite la verificación “in situ”. Para tomar estas medidas “in situ” seguiremos las directrices de las normas UNE-EN ISO 140 “Aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción”, para luego evaluar los datos según la norma UNE-EN ISO 717 “Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción”.

Estas normas ISO citadas, se subdividen en partes según se requiera para hacer la medición o evaluar los resultados y según sea a ruido aéreo entre locales, exterior o de impactos. Vemos más detalladamente, a continuación, las que serán de aplicación para medir y evaluar esta aula.

De la norma ISO 140, para la toma de medidas “in situ” y según lo que queramos medir, consultaremos su correspondiente parte:

UNE-EN ISO 140-4 1999 “Aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición in situ del aislamiento al ruido aéreo entre locales”.

UNE-EN ISO 140-5 1999 “Aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo fachadas”.

UNE-EN ISO 140-7 1999 “Aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos”.

La norma ISO 717, se aplicará para evaluar los datos obtenidos con las mediciones “in situ” del aislamiento acústico, según sea para ruido aéreo o de impactos:

UNE-EN ISO 717-1 1997 “Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo”.

UNE-EN ISO 717-2 1997 “Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos”.

Por último, para medir y evaluar el tiempo de reverberación la norma a seguir es:

UNE-EN ISO 3382-2 2008 “Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios”.

## 6. EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS

Para tomar las distintas mediciones necesitamos un equipo especializado, fiable y de calidad, el cual nos proporcionan gustosamente desde el Laboratorio de Acústica de la Universidad Politécnica de Valencia.

El material del que disponemos para realizar las mediciones es el siguiente:

**Sonómetro integrador** Tipo 1, de la marca Brüel & Kjaer, modelo 2238 Mediator, el cual es de precisión y con un amplio margen de frecuencias desde 20 Hz a 12.5 kHz para las bandas de 1/3 de octava, que es más que suficiente para tomar las mediciones necesarias. Al ser de tipo 1 quiere decir que puede tener un error de  $\pm 0.7$  dBA.



Figura 8. Sonómetro integrador utilizado, Brüel & Kjaer 2238 Mediator

Al ser un sonómetro integrador, nos permite seleccionar la curva de ponderación que va a ser usada. Por ejemplo, puede usarse la curva A (dBA), que mide la respuesta del oído ante un sonido de intensidad baja, siendo la más semejante a la percepción logarítmica del oído humano. Al no medir las frecuencias que el oído humano no percibe, es utilizado para establecer el nivel de contaminación acústica y el riesgo que sufre el hombre al ser expuesto a esta contaminación. También puede usarse en modo lineal (L) y una vez obtenidos los resultados aplicar la ponderación A por frecuencias.

Este tipo de sonómetro también permite hacer una ponderación en el tiempo, es decir la velocidad con la que son tomadas las muestras. Estos cambios se hacen mediante un menú en el mismo sonómetro, como se ve en la figura 9.



Figura 9. Vista de la pantalla del sonómetro integrador utilizado

Existen cuatro posiciones normalizadas de ponderación temporal:

- Lento (slow, S): es el valor promedio eficaz de aproximadamente un segundo.
- Rápido (fast, F): es el valor promedio eficaz por 125 milisegundos. Así pues son más efectivos ante las fluctuaciones que el modo "slow". Este modo "fast" es el que usamos para nuestras mediciones.
- Por Impulso (impulse, I): valor promedio eficaz por 35 milisegundos. Mide la respuesta del oído humano ante sonidos de corta duración.
- Por Pico (Peak, P): es el valor de pico, es decir el más alto que haya sin necesidad de que dure en el tiempo. Es muy parecido al anterior, pero con un intervalo mucho más corto entre los 50 y los 100 microsegundos. Sirve para evaluar el riesgo de daños en el oído, ante un impulso muy corto pero muy intenso.

El **micrófono** que utilizamos con el sonómetro es de condensador prepolarizado de campo libre modelo 4188, de ½ pulgada, de la marca Brüel & Kjaer, con número de serie 2735450. Este micrófono tiene un rango de frecuencia de 8Hz a 16kHz  $\pm 2$ dB. A continuación podemos ver este micrófono.



Figura 10. Micrófono de condensador prepolarizado Brüel & Kjaer 4188

El micrófono se guarda en un envase rígido cilíndrico, y en su interior se encuentra una hoja que aporta sus especificaciones y datos de interés, como vemos en la figura 11.



Figura 11. Hoja de especificaciones y datos de interés del micrófono Brüel & Kjaer

Para generar el ruido rosa para la toma de medidas “in situ” a ruido aéreo utilizamos como fuente el **generador de ruido** de la marca Brüel & Kjaer, modelo Sound Source Type 4224, el cual según el catálogo del producto, tiene un nivel de potencia sonora de 0 a 118dB. Lo vemos en las figuras 12 y 13, a continuación.



Figura 12. Fuente de ruido Brüel & Kjaer 4224

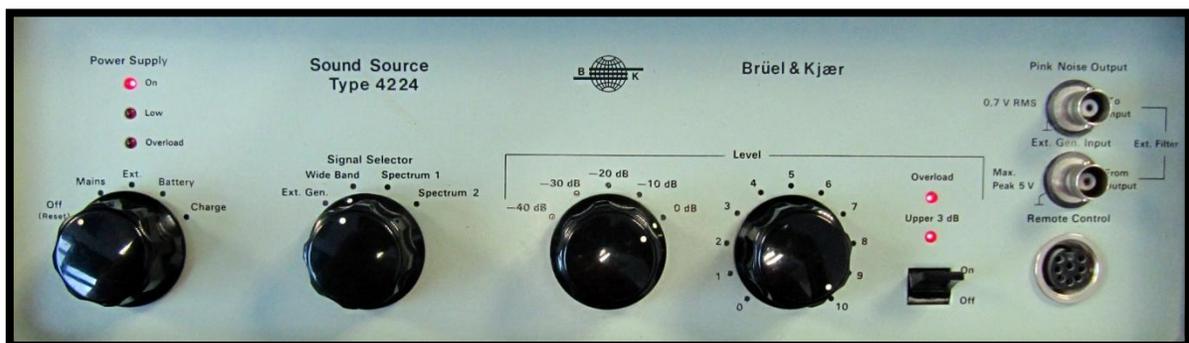


Figura 13. Cuadro de mando de la fuente, con la configuración utilizada en las mediciones

Para realizar las mediciones de transmisión de ruido de impacto utilizamos la máquina de impactos de nivel estandarizado que vemos en las figuras 14 y 15.

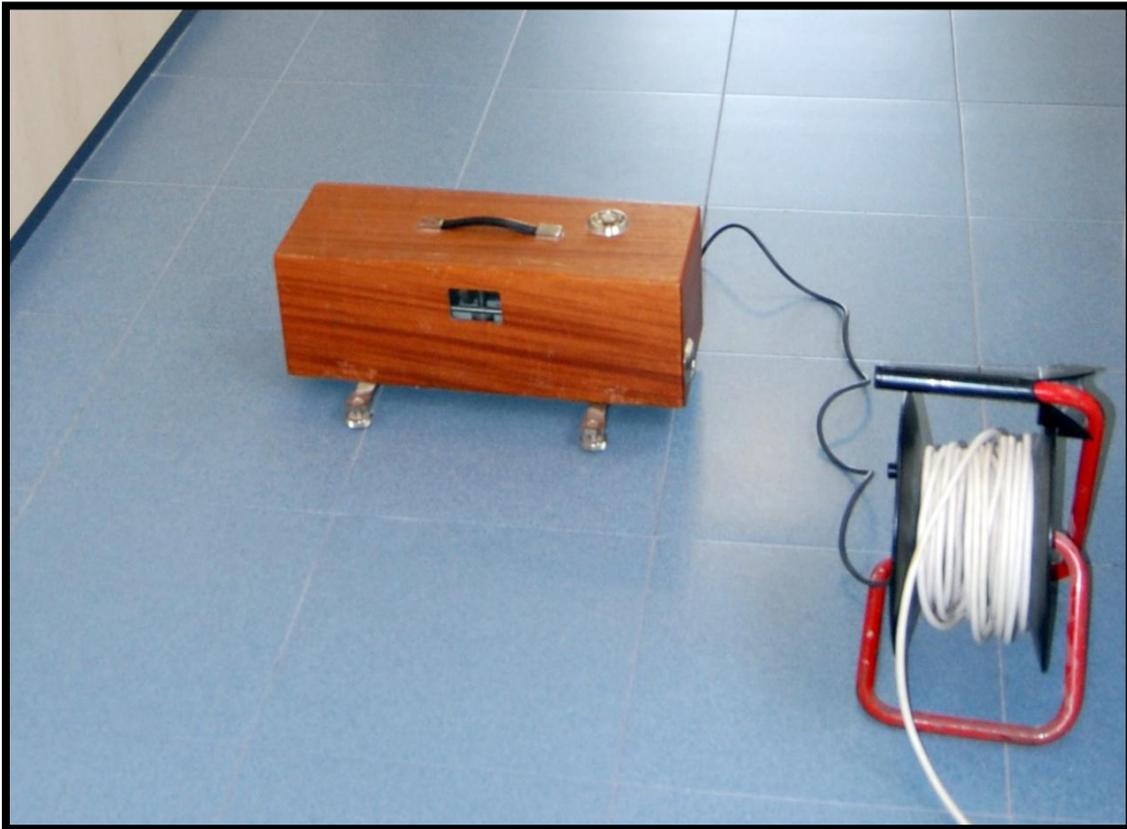


Figura 14. Máquina de impactos



Figura 15. Máquina de impactos, vista de los taladros

Para la toma de datos del tiempo de reverberación utilizamos un mini ordenador portátil (figura 18) con el **software dedicado al campo de laboratorio de acústica Dirac 3.0 Type 7841** de Brüel & Kjaer (figuras 16 y 17), conectado a un **amplificador** modelo GA-610D de 10W (figura 20) y a un  **acondicionador de señal externo** de la marca Endevco (figura 18) conectado a un preamplificador de la marca Endevco (figura 19), con un **micrófono** de condensador prepolarizado de precisión (figura 18).



Figura 16. Pantalla de inicio del software Dirac 3.0

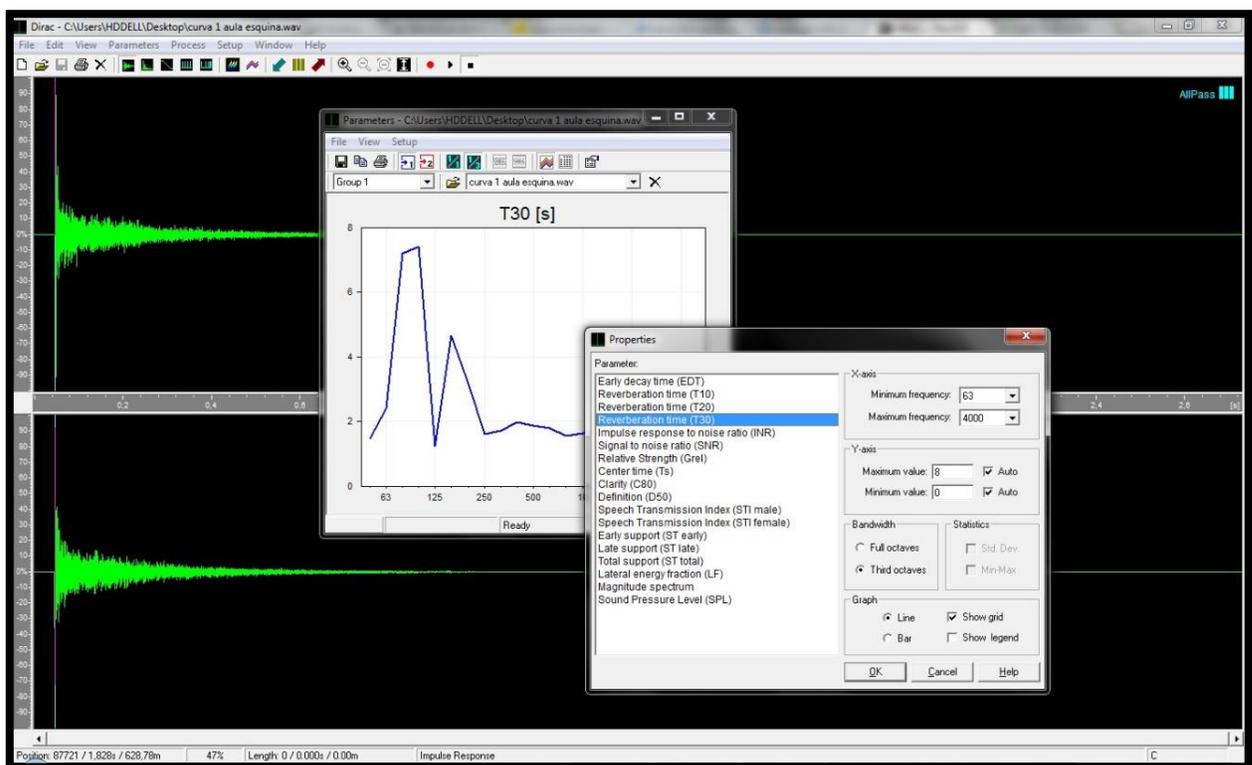


Figura 17. Captura de pantalla del software Dirac 3.0 en funcionamiento

El acondicionador de señal (figura 18) es el elemento el cual nos ofrece una señal de salida apta para ser registrada a partir de la señal de entrada que recibe del preamplificador (figura 19) con el micrófono (figura 18), permitiendo un procesamiento posterior mediante el software del que disponemos (figuras 16, 17 y 18).

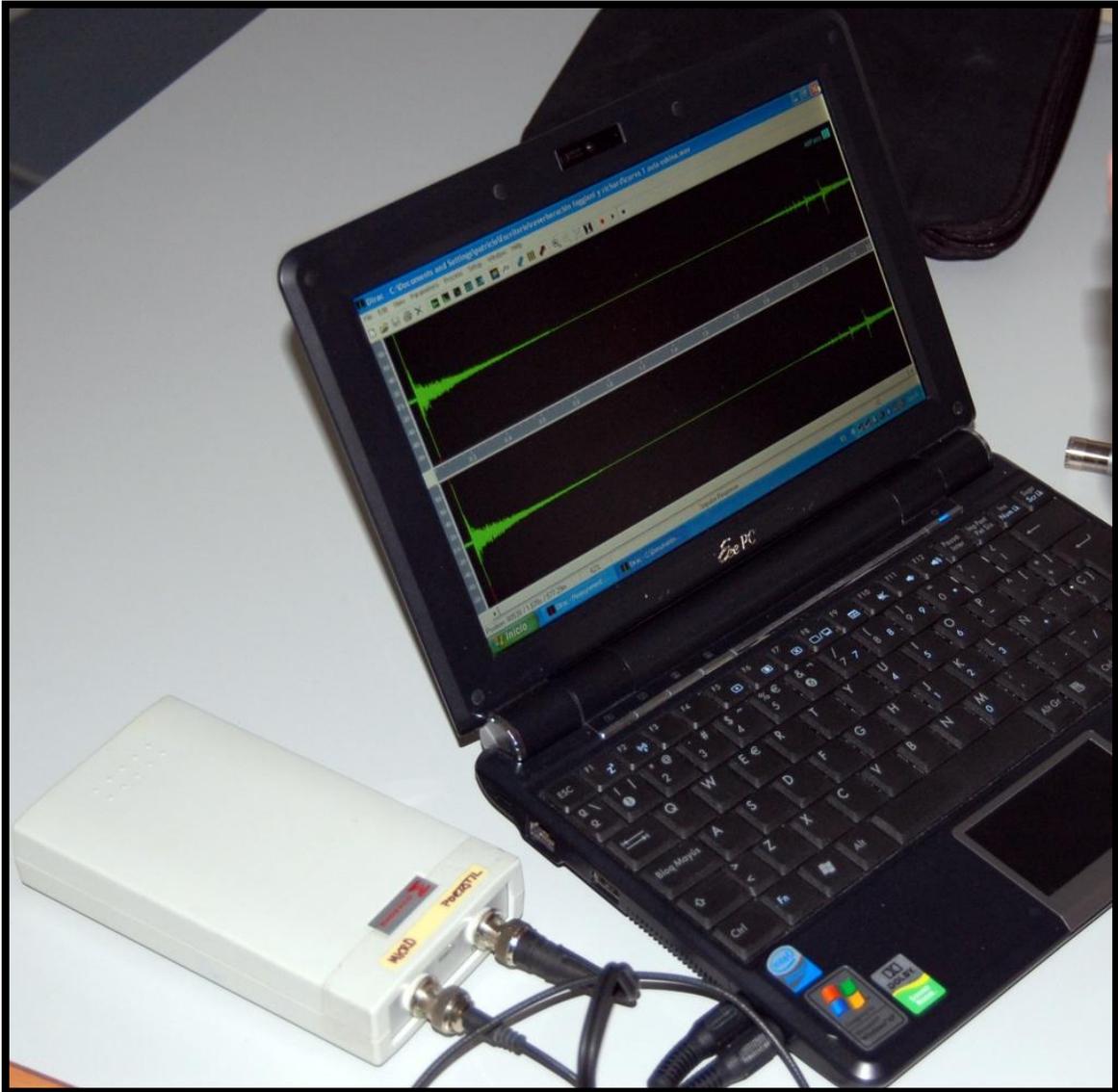


Figura 18. Acondicionador de señal, mini portátil y micrófono de condensador



Figura 19. Preamplificador, de la marca Endevco



Figura 20. Amplificador GA-610D

## 7. METODOLOGÍA EMPLEADA

Para conseguir los índices requeridos por el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico HR de Protección frente al Ruido, la metodología que seguimos es la siguiente:

### 7.1. RUIDO AÉREO

Según el CTE DB-HR, el índice a evaluar entre locales es la diferencia de niveles estandarizada ponderada A,  $D_{nT,A}$ , entre el recinto receptor y el emisor, mientras que entre el recinto receptor y el exterior se evalúa la diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, para ruido de tráfico,  $D_{2m,nT,Atr}$ .

Diferenciamos las mediciones a ruido aéreo según se tomen las medidas desde la calle en el caso de fachadas o desde otros recintos, pero antes hallaremos el ruido de fondo, que utilizaremos tanto para calcular el ruido aéreo entre locales como del exterior.

#### *Ruido de fondo*

Primero debemos medir el nivel de ruido de fondo del aula ( $B_2$ ), y para ello realizamos 5 medidas, cada una en distintas posiciones distribuidas de manera uniforme en el aula (figura 21), cuando no haya actividad en el aula y sin emitir ningún tipo de ruido por nuestra parte, respetando las siguientes distancias mínimas:

- 0.7m entre posiciones de micrófono.
- 0,5m entre cualquier posición del micrófono respecto a los bordes del aula.

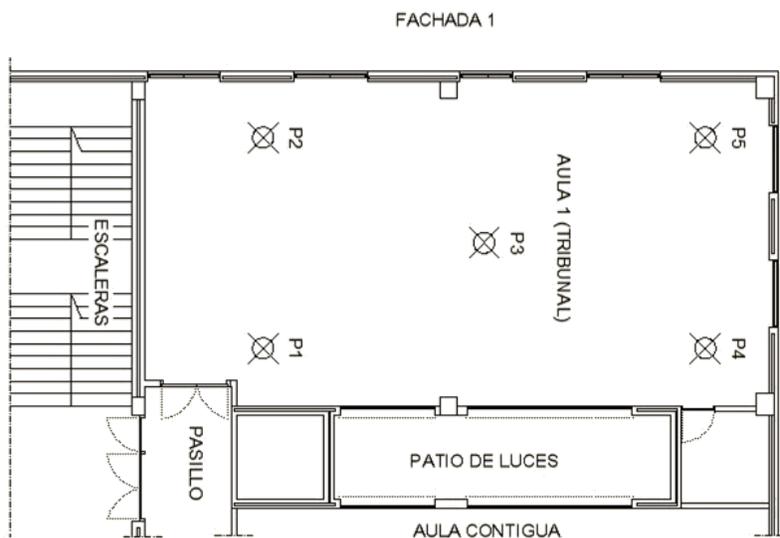


Figura 21. Posiciones medición nivel de fondo ( $B_2$ ) en el aula 1

El nivel de presión sonora debe medirse utilizando filtros de tercio de octava y el rango de frecuencias comprendido entre 100 y 3150Hz. En la tabla 2 vemos las frecuencias a evaluar.

Tabla 2. Frecuencias a evaluar

Frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------

Nos aseguraremos que no haya diferencias de nivel mayores de 6dB entre bandas de tercio de octava adyacentes.

Cada medición la tomaremos con el sonómetro integrador en modo de análisis de frecuencia durante 1 minuto y además de en tercios de octava, lo deberemos poner en Fast para la ponderación temporal y modo Lineal, sin ponderación de frecuencias.

### ***Ruido aéreo entre locales***

Para la medición “in situ” del aislamiento a ruido aéreo entre locales, nos basamos en la norma UNE-EN ISO 140-4 "Aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción - Medición in situ del aislamiento al ruido aéreo entre locales".

Para obtener  $D_{nT,A}$ , antes debemos hallar la diferencia de niveles estandarizada,  $D_{nT}$ , de la siguiente manera:

$$D_{nT} = D + 10 \cdot \log\left(\frac{T_2}{T_0}\right)$$

$$D = L_1 - L_{2\text{corregido}}$$

Donde:

$D$  es la diferencia de niveles entre recintos.

$L_1$  es el nivel de presión sonora medio en el recinto emisor, según recinto a medir.

$L_{2\text{corregido}}$  nivel de presión sonora en el recinto receptor corregido por ruido de fondo.

$T_2$  es el tiempo de reverberación medido “in situ” en el recinto receptor, aula 1.

$T_0$  es el tiempo de reverberación de referencia, como veremos en el punto 7.3, es 0,5s.

Para hallar el nivel de presión sonora en cada recinto, no hacemos una media aritmética entre las distintas posiciones medidas, sino que lo haremos mediante la siguiente ecuación:

$$L_T = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_i/10}\right)$$

Partiendo del promedio de niveles de las diferentes mediciones tanto para  $L_2$  como para  $B_2$ , debemos corregir el nivel  $L_2$  con el ruido de fondo  $B_2$  y lo llamamos  $L_{2\text{corregido}}$ .

Para hacer la corrección por ruido de fondo  $L_{2\text{correctado}}$ , para cada banda de frecuencia, el nivel de ruido de fondo deberá ser de al menos 10 dB inferior al nivel combinado de la señal y el ruido de fondo, en caso contrario no hará falta corregir  $L_2$ . En caso de ser superior a 10dB se desprecia el ruido de fondo y no hace falta corrección. Si la diferencia de niveles es inferior o igual a 6 dB, se utiliza la corrección 1,3 dB. Y si la diferencia de niveles es inferior a 10 dB pero superior a 6 dB, se calcula las correcciones al nivel de la señal según la siguiente ecuación:

$$L_{2\text{correctado}} = 10 \cdot \log\left(10^{\frac{L_{SB}}{10}} - 10^{\frac{B_2}{10}}\right) \text{ (dB)}$$

Donde:

$L_{SB}$  es el nivel combinado de  $L_2$  y ruido de fondo en el recinto receptor, aula 1 (dB).

$B_2$  es el nivel de ruido de fondo en el recinto receptor, aula 1 (dB).

Para evaluar los niveles de presión sonora, tanto en el recinto emisor ( $L_1$ ), como en el receptor ( $L_2$ ), realizamos 5 medidas con el sonómetro integrador para cada posición del generador de ruido (emisor), el cual tendremos emitiendo ruido rosa al máximo volumen. Para el recinto receptor, el aula 1, usaremos las mismas posiciones que para el ruido de fondo, mientras que para los recintos emisores, en este caso el pasillo junto a las escaleras y por otro lado el patio de luces, usaremos las posiciones tal y como se ven en las figuras 22 y 24, manteniendo las mismas distancias mínimas que para el ruido de fondo y como mínimo a 1 metro de distancia entre cualquier posición y la fuente.



Figura 22. Posiciones medición ruido aéreo partición A



Figura 23. Vista desde el pasillo hacia la puerta de entrada del aula 1

Nótese, a continuación, que el patio de luces lo medimos como si fuera entre locales, dadas sus características, pero lo evaluaremos como ruido aéreo del exterior.

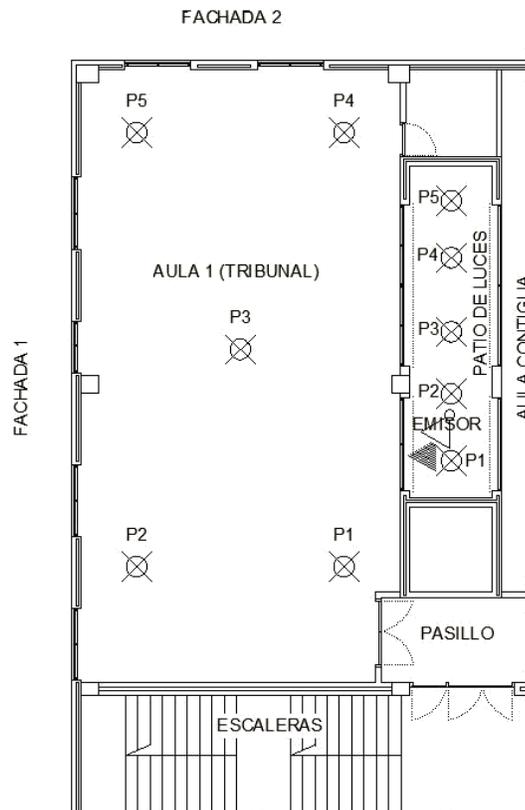


Figura 24. Posiciones medición ruido aéreo partición B



Figura 25. Fotografía del patio de luces

Para la evaluación de los datos obtenidos seguiremos el procedimiento de la Norma UNE-EN ISO 717-1 “Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo”

Una vez tengamos el espectro de  $D_{nT}$ , podremos hallar  $D_{nT,w}$  utilizando el método de comparación, según la norma UNE-EN ISO 717-1, como veremos en el apartado 8 de este proyecto. A partir de  $D_{nT,w}$  se obtienen, ponderando según los valores de la tabla 4 de la norma UNE-EN ISO 717-1, los términos de adaptación espectral  $C$  y  $C_{tr}$ , que nos servirán para compararlos con  $D_{nT,A}$  y  $D_{n,TAttr}$  requeridos por el CTE.

## Ruido aéreo del exterior

Para saber el valor del aislamiento acústico a ruido aéreo entre el aula y el exterior que debe cumplir según el CTE DB-HR, necesitamos saber el Índice de ruido día ( $L_D$ ). Según el mapa estratégico de ruido de la ciudad de Valencia, como vemos en la figura 26, nuestro aula se encuentra en una zona cuyo Índice de ruido día ( $L_D$ ) está entre 60-65dBA.

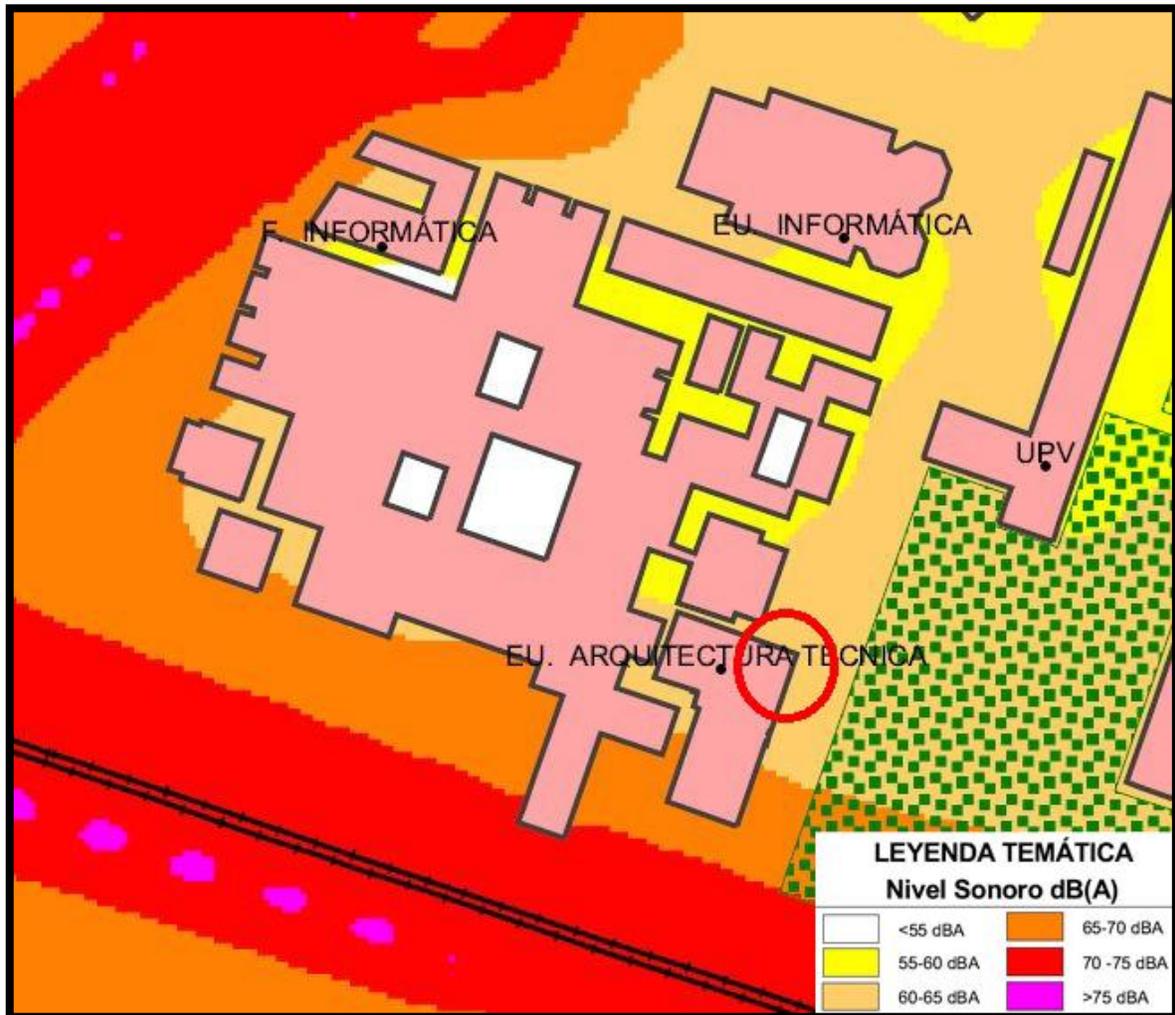


Figura 26. Índice de ruido día  $L_D$ . Situación en el mapa estratégico de ruido de Valencia

Según la tabla 2.1 del CTE DB-HR, para un  $L_D$  entre 60-65dBA y un uso docente del edificio, en aulas obtenemos el aislamiento acústico a ruido aéreo que debe cumplir la fachada, como podemos ver en la tabla 3.

Tabla 3. Tabla 2.1 del CTE DB-HR, valores de aislamiento acústico a ruido aéreo exterior  
**Tabla 2.1 Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_{2m,nT,Atr}$ , en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día,  $L_d$ .**

$L_d$ dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario <sup>(1)</sup> , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

<sup>(1)</sup> En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

Observamos en la tabla que el aislamiento acústico a ruido aéreo que debe cumplir entre el aula y el exterior es de 30dBA, como mínimo.

Para la medición “in situ” a ruido aéreo de la fachada, tomamos las medidas basándonos en la norma UNE-EN ISO 140-5 “Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas”.

Para medir el nivel de presión sonora, en este caso, al no tener un recinto emisor como tal, sino que es en la calle, tendremos que tomar las medidas a 2 metros de distancia de la fachada desde el aula, y por ello la notación cambia añadiendo “2m”, como vemos a continuación:

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \cdot \log \left( \frac{T_2}{T_0} \right)$$

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

Donde:

$B_2$  es el ruido de fondo del recinto receptor, aula 1.

$L_{1,2m}$  es el nivel de presión sonora medio exterior a 2 metros frente a la fachada.

$L_2$  es el nivel de presión sonora medio en el recinto receptor, aula 1.

$L_{2corregido}$  nivel de presión sonora en el recinto receptor, corregido por ruido de fondo.

$T_2$  es el tiempo de reverberación medido “in situ” en el recinto receptor, aula 1.

$T_0$  es el tiempo de reverberación de referencia, como veremos en el punto 7.3, es 0,5s.

El nivel de presión sonora en el recinto receptor corregido por ruido de fondo,  $L_{2corregido}$ , se obtiene de la misma manera que para ruido aéreo entre locales. Usaremos el mismo ruido de fondo del aula 1 obtenido anteriormente. Para las mediciones de  $L_1$  y  $L_2$  utilizamos de nuevo el generador de ruido (emisor), esta vez colocado en la calle, en posición a 45° en dirección a la fachada a medir (figura 27) y tomaremos 5 medidas desde el aula, a ser posible a 2 metros de distancia de la fachada, colocándonos desde las

ventanas. Para tomar las medidas en el recinto receptor ( $L_2$ ) usaremos las mismas posiciones que en el caso anterior, como vemos en la figura 28.

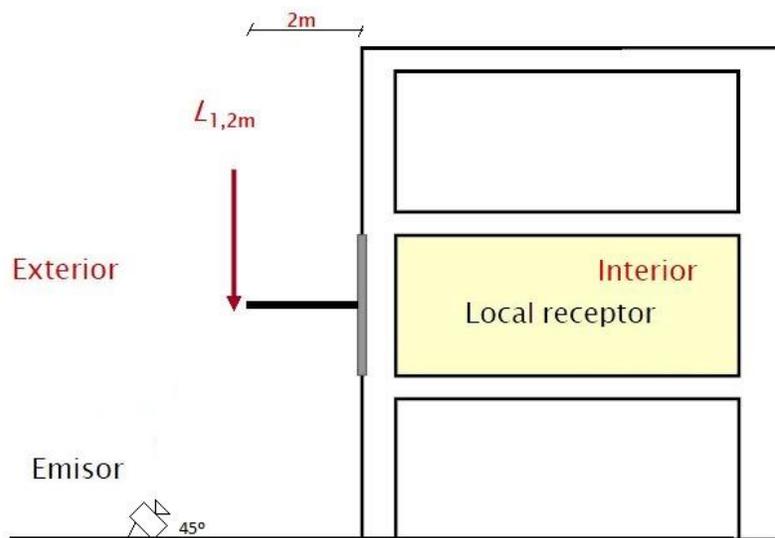


Figura 27. Posición de la fuente de ruido para mediciones a ruido aéreo de fachada

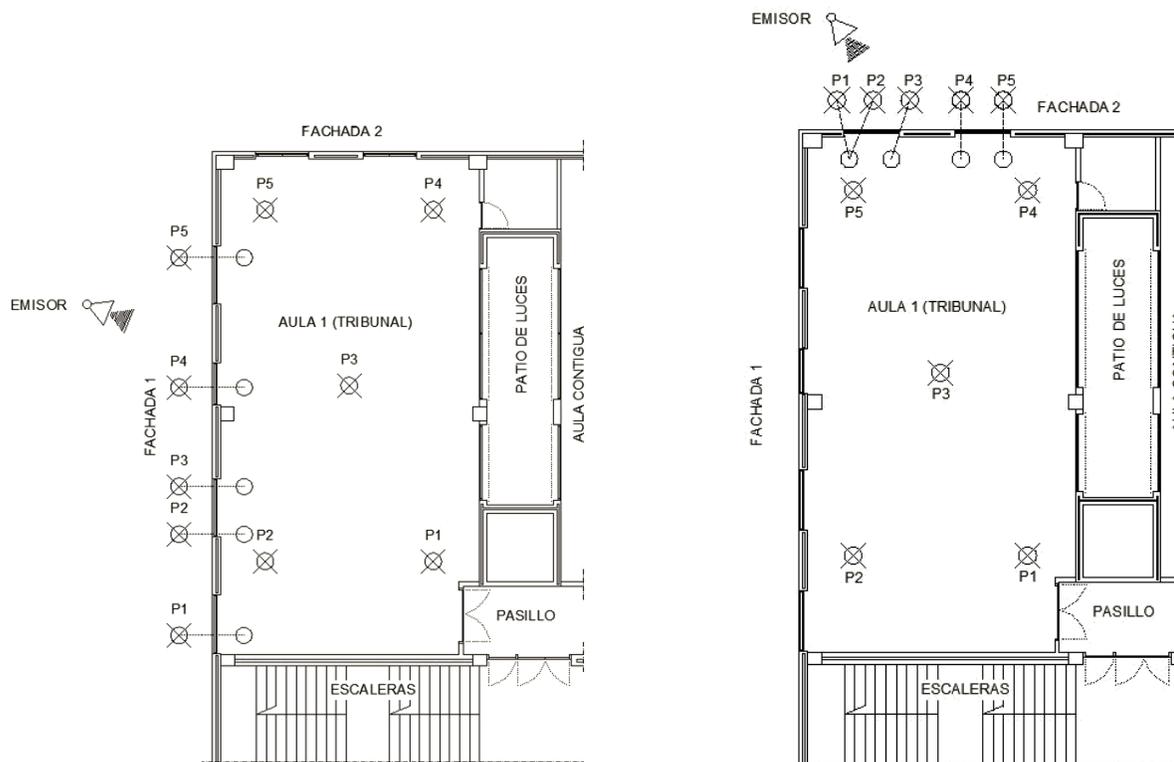


Figura 28. Posiciones medición ruido particiones C y D

Cuanto mayor sea la diferencia de nivel que exista entre el recinto emisor y el receptor, mayor será el aislamiento acústico a ruido aéreo del elemento que los separa.

## 7.2. RUIDO DE IMPACTO

Al tener más plantas por encima del aula que estamos evaluando, debemos medir también el aislamiento acústico del suelo a ruido de impacto, generado en el recinto inmediatamente superior, y lo hacemos siguiendo las directrices de la norma UNE-EN ISO 140-7 “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”.

Según el CTE DB-HR, el índice a evaluar es el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado,  $L'_{nT,w}$ , en dB, para el elemento de separación horizontal entre un recinto receptor protegido y cualquier recinto no perteneciente a la unidad de uso.  $L'_{nT,w}$  no deberá ser superior a 65dB.

En este caso, cuanto más bajo sea el nivel estandarizado de ruido de impacto, mejor será el aislamiento.

Primero, deberemos calcular el nivel de presión de ruido de impactos estandarizado,  $L'_{nT}$ , que se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$L'_{nT} = L_{2\text{corregido}} - 10 \cdot \log \left( \frac{T_2}{T_0} \right) (dB)$$

Donde:

$L_{2\text{corregido}}$  es el nivel de presión sonora en el recinto receptor, corregido por ruido de fondo.

$T_2$  es el tiempo de reverberación en el recinto receptor.

$T_0$  es el tiempo de reverberación de referencia, para aulas docentes tomamos 0.5s

Para hacer la corrección por ruido de fondo  $L_{2\text{corregido}}$ , para cada banda de frecuencia, el nivel de ruido de fondo deberá ser de al menos 10 dB inferior al nivel combinado de la señal y el ruido de fondo, en caso contrario no hará falta corregir  $L_2$ . Si la diferencia de niveles es inferior o igual a 6 dB, se utiliza la corrección 1,3 dB. Y si la diferencia de niveles es inferior a 10 dB pero superior a 6 dB, se calcula las correcciones al nivel de la señal según la siguiente ecuación:

$$L_{2\text{corregido}} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{SB}}{10}} - 10^{\frac{B_2}{10}} \right) (dB)$$

Donde:

$L_{SB}$  es el nivel combinado de  $L_2$  y ruido de fondo en el recinto receptor, aula 1 (dB).

$B_2$  es el nivel de ruido de fondo en el recinto receptor, aula 1 (dB).

Una vez tengamos el espectro de  $L'_{nT}$ , podremos hallar el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado  $L'_{nT,w}$ , utilizando el método de comparación, como veremos en el punto 8 de este proyecto, según la norma UNE-EN ISO 717-2.

Para medir el nivel de ruido de impacto en el elemento separador entre el aula y el forjado superior, se debe generar un nivel de ruido estándar en el forjado superior mediante la máquina de impactos en 4 posiciones de fuente en el local emisor y tomando 4 mediciones para cada posición en el local receptor. La planta superior al aula recae a varios despachos y a un pasillo, al no poder entrar en los despachos para hacer las pruebas se decide colocar la máquina de impactos en una posición de fuente en el pasillo que recae sobre el aula 1, tomando 2 mediciones de micrófono en el aula 1.

Colocamos la máquina de forma aleatoria en el suelo del pasillo de la planta superior sobre el aula 1, quedando los martillos de la máquina formando  $45^\circ$  con la dirección de las vigas.

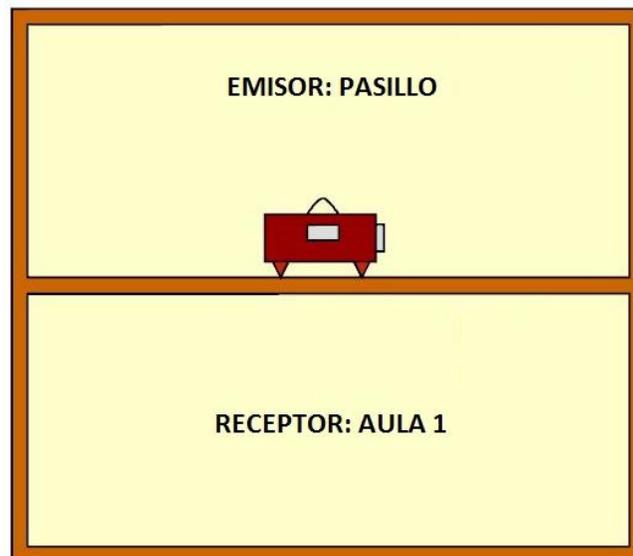


Figura 29. Posición de la máquina de impactos

Por lo tanto, para la medición “in situ” del nivel de presión sonora del aula,  $L_2$ , realizamos 2 posiciones de micrófono en el local receptor y posición 1 de fuente en el emisor, las cuales distribuimos manteniendo las siguientes distancias mínimas:

- 0.7 m entre posiciones de micrófono.
- 0.5 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes del aula.
- 1 m entre cualquier posición de micrófono y la máquina de impactos.

Para la evaluación de los datos obtenidos seguimos el procedimiento de la Norma UNE-EN ISO 717-2 “Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impacto”.

### 7.3. TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Medimos el tiempo de reverberación “in situ” en el recinto receptor, que es nuestro aula 1, y lo hacemos según las indicaciones de la Norma UNE-EN ISO 3382-2 “Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios”, para el método de respuesta impulsiva integrada.

El tiempo de reverberación es el tiempo que tarda el sonido en la sala en disminuir 60dB desde el cese de la señal. A la hora de medir, es casi imposible disponer de ese margen dinámico tan amplio por culpa del ruido de fondo y limitaciones de los propios equipos de medida. Es por esto que normalmente se mide sobre un margen menor, en este caso 30dB, de ahí el nombre  $T_{R30}$ , y el resultado lo extrapolaremos a 60 dB, suponiendo que la pendiente de caída no varía.

Por lo tanto hallaremos  $T_{R30}$ , y lo haremos tomando 2 registros en la posición del orador, a una altura de 1,5m sobre el suelo, tanto para la fuente como para el micrófono.

Utilizamos el método de respuesta impulsiva para cada medida, que consiste en generar un impulso sonoro, en nuestro caso con el software Dirac 3.0, que sonará en el aula a través del amplificador y el mismo software recogerá cada medida a través del micrófono conectado al ordenador mediante el acondicionador de señal. El programa nos proporcionará una curva de decaimiento del sonido y una tabla con los tiempos de reverberación por frecuencias. Descartaremos los valores más dispersos para calcular un promedio con los seleccionados. Para obtener el tiempo de reverberación  $T_{R30}$ , deberemos extrapolar el promedio de las diferentes frecuencias de 30dB a 60dB, en este caso el mismo programa se encargará de ello.

Hay que puntualizar, que una vez que tengamos la curva de caída debemos dejar un margen de 5dB a partir del instante de cese de emisión de la señal, a fin de evitar posibles comportamientos transitorios en esa zona y a partir de aquí seleccionar los siguientes 30dB de caída.

Según el CTE DB-HR, los elementos constructivos, acabados superficiales y revestimientos que delimitan un aula, en conjunto, deben tener la absorción acústica suficiente de tal manera que:

a) El tiempo de reverberación en el aula vacía (sin ocupación y sin mobiliario), cuyo volumen sea menor que  $350 \text{ m}^3$ , no sea mayor que 0,7 s.

b) El tiempo de reverberación en el aula vacía, pero incluyendo el total de las butacas, cuyo volumen sea menor que  $350 \text{ m}^3$ , no sea mayor que 0,5 s.

Así pues, nuestra aula de  $320,78 \text{ m}^3$ , al disponer de todo el mobiliario para su uso docente al que está destinado, debe cumplir con un tiempo de reverberación no mayor a 0,5s tras las mediciones. Hacemos estas mediciones con los estores subidos, ya que es de esta forma como se imparten las clases de día.

La fórmula de Sabine relaciona el tiempo de reverberación con el volumen del recinto y la absorción del sonido total:

$$T = \frac{0,162 \cdot V}{A}$$

Se puede mejorar la fórmula de Sabine para conocer el coeficiente de absorción de los materiales introduciendo la siguiente fórmula:

$$A = \sum \alpha \cdot S$$

Donde:

$V$  es el volumen del local ( $m^3$ ).

$A$  es la absorción acústica del local ( $m^2$ ).

$\alpha$  es el coeficiente de absorción.

$S$  es la superficie ( $m^2$ ).

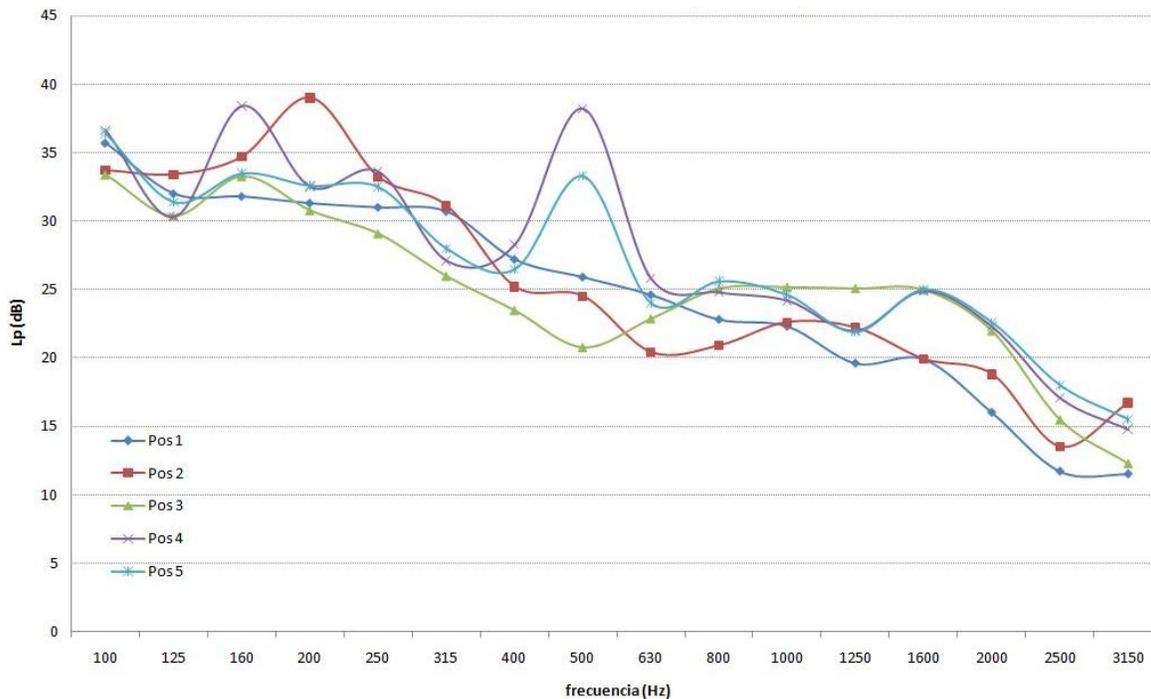
Veremos que en caso de que el aula no cumpla la normativa al tiempo de reverberación, el mismo CTE DB-HR establece la posibilidad de determinar el coeficiente de absorción de los materiales necesarios para cumplir sus exigencias.

## 8.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 8.1. RUIDO AÉREO

#### *Ruido de fondo*

En la siguiente gráfica, representamos los valores de nivel de ruido de fondo en dB, frente a la frecuencia en Hz, tomados en las distintas posiciones.



Gráfica 1. Nivel de fondo del aula 1 en las distintas posiciones de medida

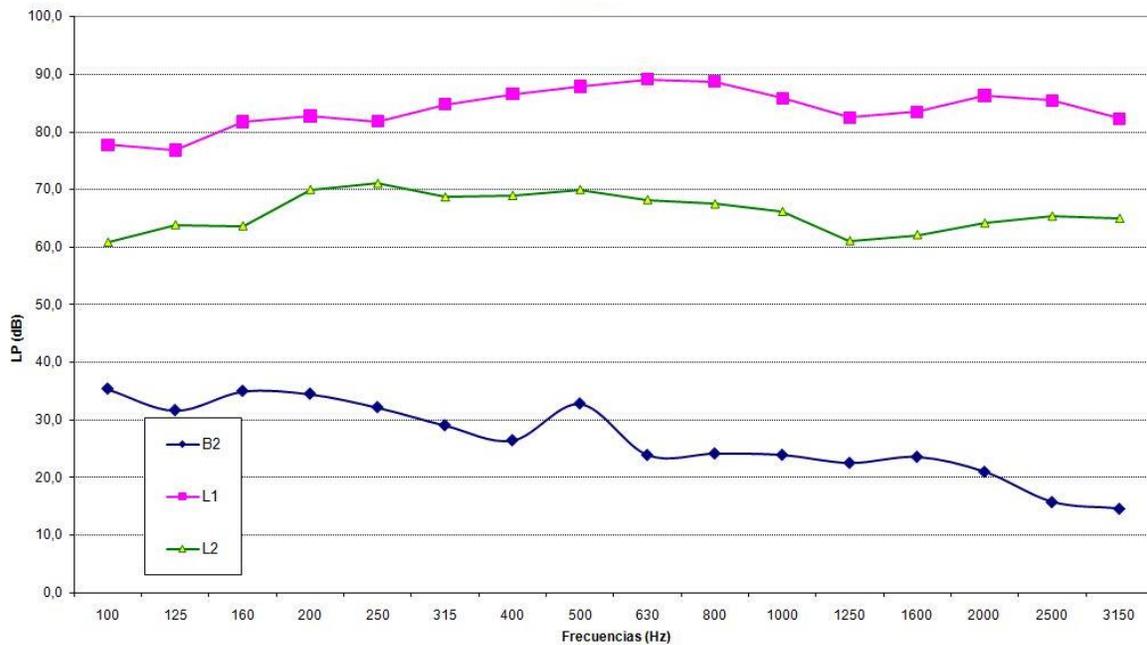
Como podemos observar en la gráfica 1, vemos un pico a 500Hz en las posiciones 4 y 5, ambas posiciones situadas en el fondo del aula cerca de la fachada recayente a la carretera. Estos picos podrían ser debidos tanto al viento como al ruido de instalaciones. En general, observamos un nivel más elevado en frecuencias bajas, esto puede deberse al ruido producido por el tráfico, las luminarias, la red eléctrica u otras instalaciones.

A continuación representamos, en las sucesivas gráficas, tanto el nivel de fondo del aula 1, como los niveles de presión medidos en cada recinto, para cada una de las 4 particiones de nuestra aula.

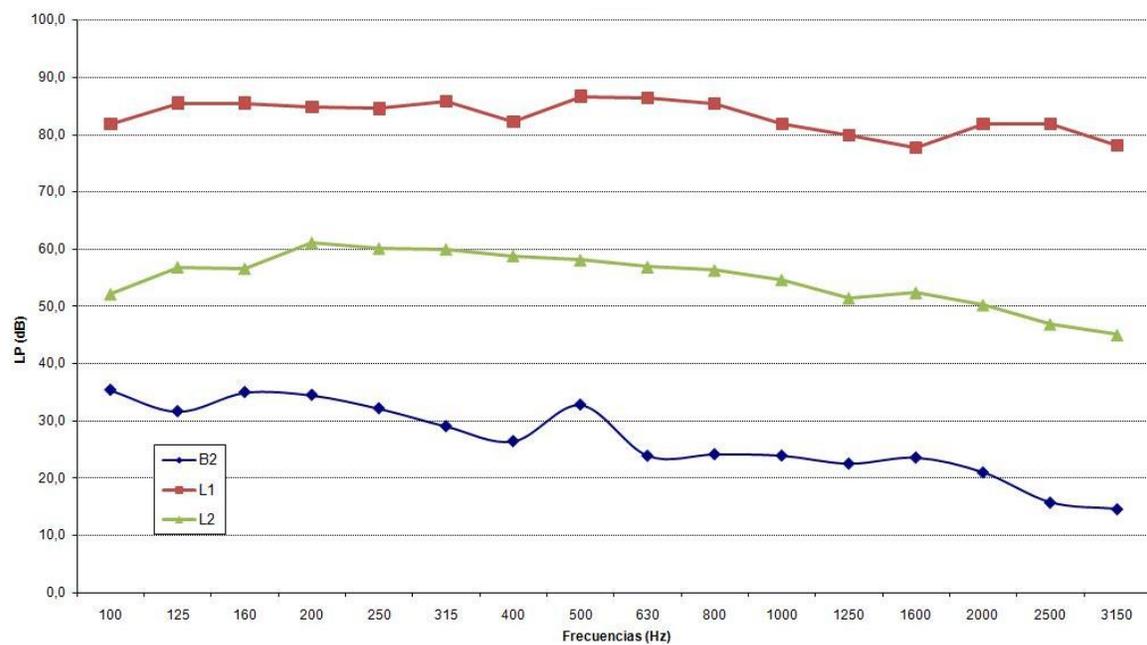
$L_1$  es el nivel de presión acústica medio en el recinto emisor, según gráfica.

$L_2$  es el nivel de presión acústica medio en el recinto receptor, el aula 1.

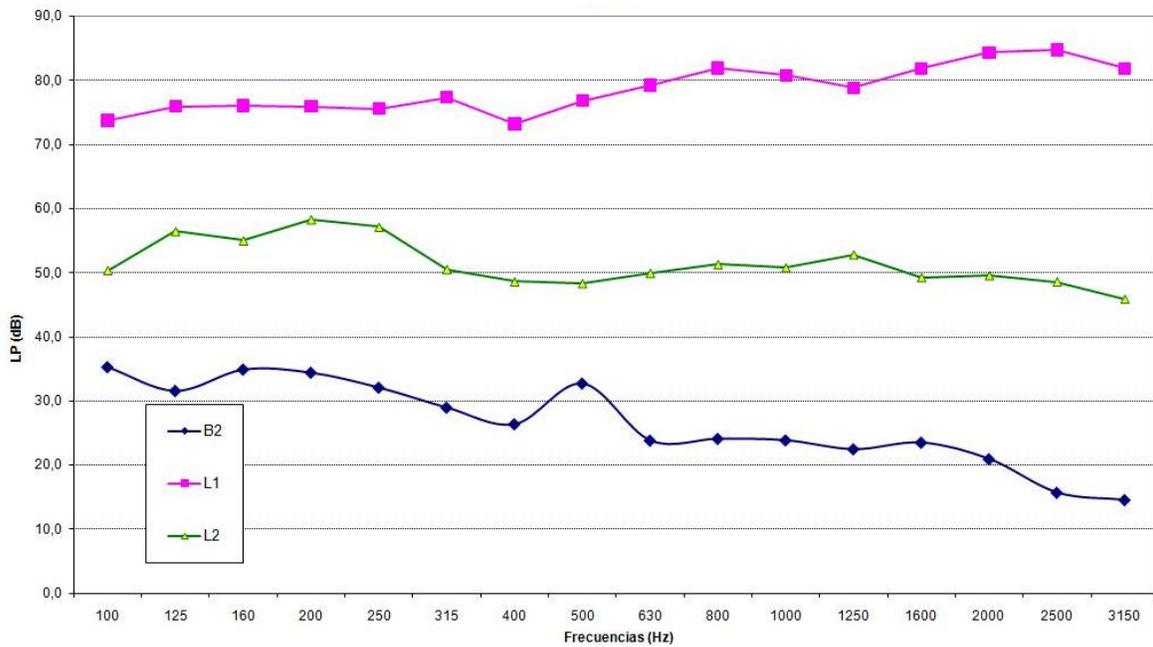
$B_2$  es el nivel de ruido de fondo medio en el aula 1.



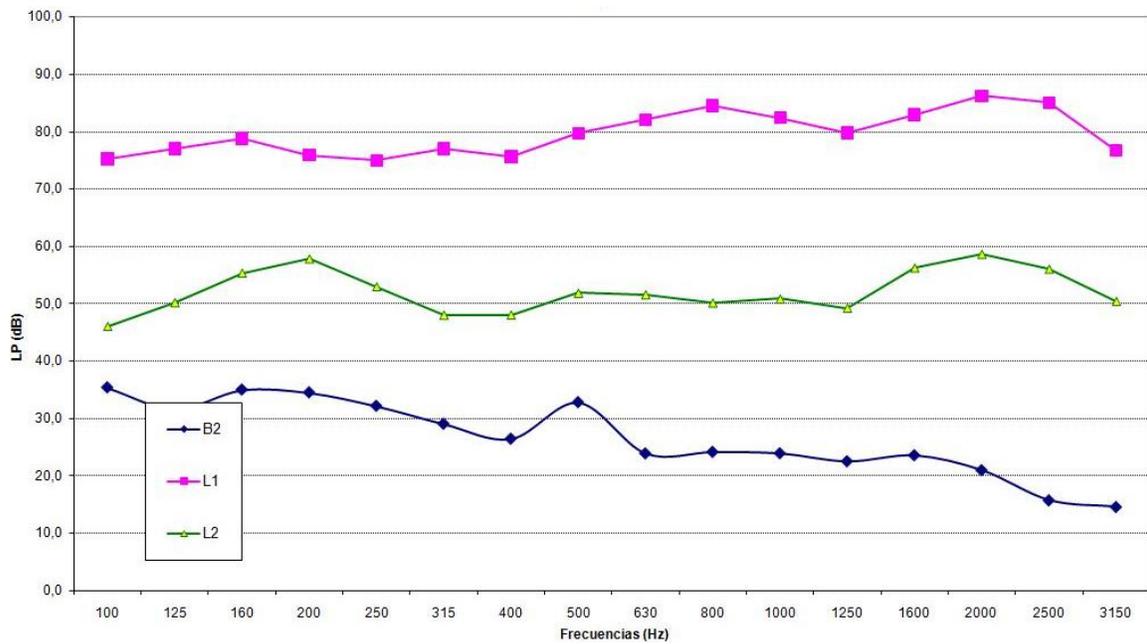
Gráfica 2. Niveles de presión y de fondo, partición A. Emisor L1: pasillo



Gráfica 3. Niveles de presión y de fondo, partición B. Emisor L1: patio de luces



Gráfica 4. Niveles de presión y de fondo, partición C. Emisor L1: Calle fachada 1



Gráfica 5. Niveles de presión y de fondo, partición D. Emisor L1: Calle fachada 2

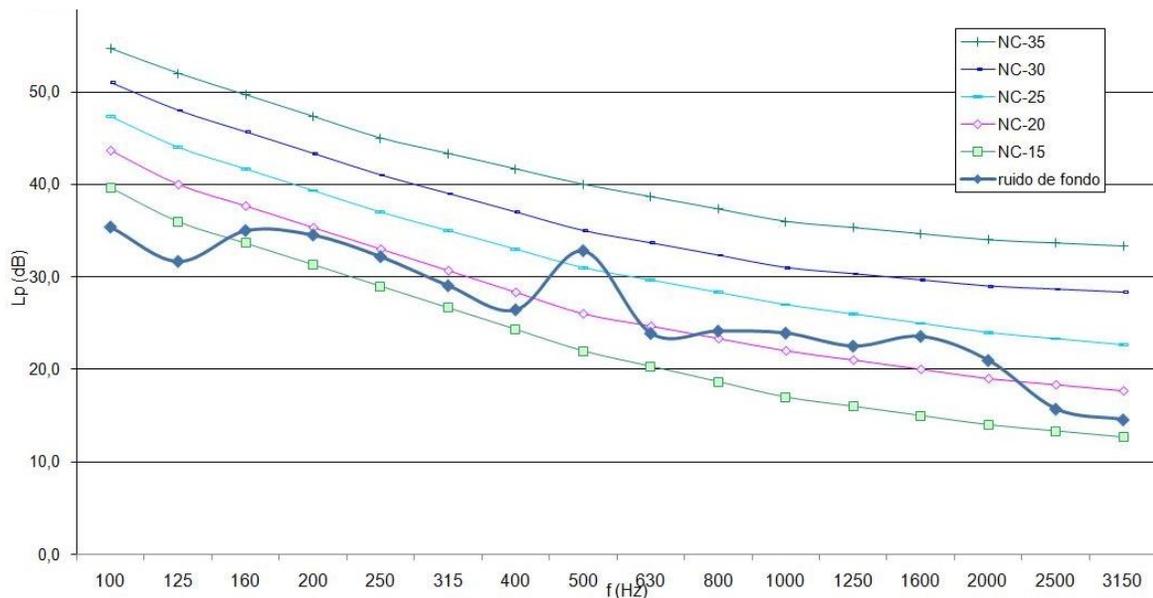
## Curvas de referencia Noise Criteria (NC)

Las curvas de referencia Noise Criteria, establecen los niveles máximos de ruido recomendables para diferentes tipos de recintos en función de su aplicación, para que las actividades que en ellos se lleven a cabo se desarrollen adecuadamente. Estas curvas siguen de forma aproximada la evolución de la sensibilidad del oído humano en función de la frecuencia, ya que el oído es menos sensible a medida que la frecuencia considerada es menor. En la tabla 4 vemos los valores para estas curvas. Para un aula se recomienda una curva NC entre 20-30.

Tabla 4. Valores de referencia Noise Criteria (NC)

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
NC-65	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
NC-60	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
NC-55	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
NC-50	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
NC-45	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
NC-40	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
NC-35	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
NC-30	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
NC-25	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
NC-20	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
NC-15	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

A continuación, representamos el ruido de fondo del aula 1 junto a las curvas NC, para así poder determinar, por comparación, a qué nivel corresponde el aula.



Gráfica 6. Evaluación del ruido de fondo para el aula 1, mediante curvas NC

Según se puede observar en la gráfica 6, se trata de una curva NC-30, al encontrarse el nivel promedio de ruido de fondo por debajo de esa curva. Por lo tanto, se encuentra dentro de los niveles recomendados.

## Ruido aéreo entre locales

Como marcan las normas UNE ISO 140, para la expresión de los resultados de aislamiento a ruido aéreo, damos los valores de la diferencia de niveles estandarizada  $D_{nT}$ , a todas las frecuencias de medición, con un decimal, en forma de tabla y de curva. Estas gráficas del informe de la medición muestran el nivel en decibelios en función de la frecuencia.

De las mediciones “in situ” y según la metodología explicada en el punto 7 de este proyecto, obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 5. Valores obtenidos a ruido aéreo para la partición A, pasillo - aula 1

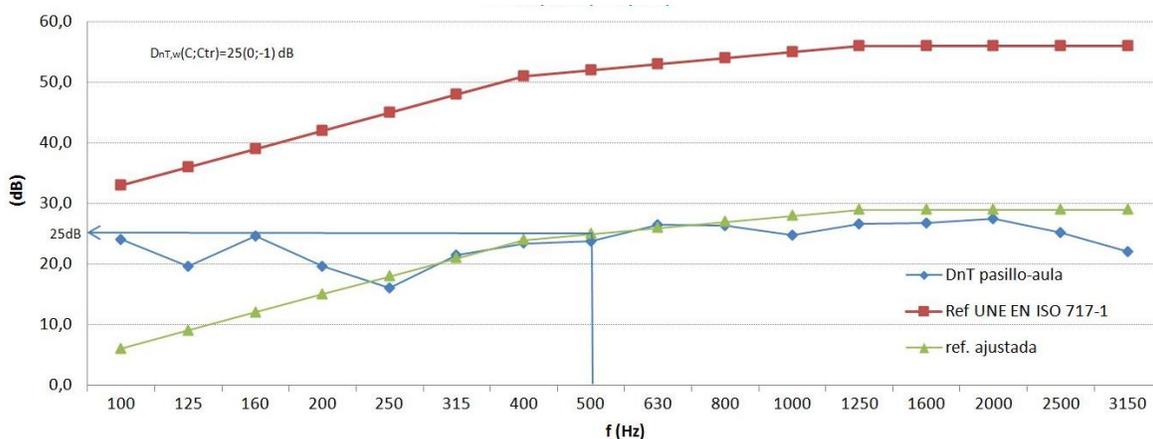
VALORES OBTENIDOS A RUIDO AÉREO PARTICION A (PASILLO - AULA 1)									
f (Hz)	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	L <sub>2corr</sub>	D L <sub>1</sub> -L <sub>2corr</sub>	D <sub>nT</sub> D+10lg(T2/0,5)	Referencia UNE 717-1	Referencia ajustada
100	77,8	60,8	35,4	2,6	60,8	16,9	24,1	33	6
125	76,9	63,9	31,7	2,3	63,9	13	19,6	36	9
160	81,8	63,7	35	2,3	63,7	18,1	24,7	39	12
200	82,8	70	34,5	2,4	70	12,8	19,6	42	15
250	81,9	71	32,2	1,7	71	10,8	16	45	18
315	84,8	68,7	29	1,7	68,7	16,1	21,4	48	21
400	86,6	69	26,4	1,9	69	17,7	23,4	51	24
500	87,9	70	32,8	1,9	70	17,9	23,8	52	25
630	89,1	68,2	23,9	1,9	68,2	20,9	26,5	53	26
800	88,8	67,5	24,2	1,6	67,5	21,3	26,3	54	27
1000	85,9	66,2	23,9	1,6	66,2	19,7	24,7	55	28
1250	82,5	61,1	22,5	1,7	61,1	21,5	26,6	56	29
1600	83,5	62,1	23,6	1,8	62,1	21,4	26,8	56	29
2000	86,3	64,2	21	1,7	64,2	22,2	27,4	56	29
2500	85,5	65,4	15,7	1,6	65,4	20,1	25,2	56	29
3150	82,3	65	14,6	1,5	65	17,4	22	56	29
									D <sub>nT,w</sub> =25dB

Utilizamos el método de comparación, según la norma UNE-EN ISO 717-1, para valorar los resultados en bandas de tercio de octava, desplazando la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida, hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor que 32,0 dB.

Sabemos que se produce una desviación desfavorable en una determinada frecuencia cuando el resultado de las mediciones es inferior al valor de referencia. De acuerdo con este procedimiento, después del desplazamiento, el valor en decibelios de la curva de referencia a 500 Hz, es el de  $D_{nT,w}$ .

Los términos de adaptación espectral C y Ctr, para ruido rosa y de tráfico respectivamente, se calculan mediante los valores de ponderación de la tabla 4 de la norma UNE-EN ISO 717-1.

Como vemos en la gráfica 7, para la partición A correspondiente al pasillo y escaleras, obtenemos un aislamiento acústico  $D_{nT,w}(C;Ctr)=25(0;-1)$ dB. Al hacer la medición del pasillo y las escaleras juntas estos recintos comparten puerta con el aula, por lo que según el CTE DB-HR, el índice global de reducción acústica, ponderado A ( $R_A$ ), que debe cumplir la puerta por el ruido generado por el recinto no perteneciente a la misma unidad de uso, no será menor que 30dBA. Según el CTE DB-HR, el valor de  $D_{nT,A}$  se puede aproximar mediante  $D_{nT,w} + C$ . Obtenemos como resultado  $D_{nT,w} + C = 25 + 0 = 25$ dB, por lo tanto tendremos  $D_{nT,A}=25$ dBA, comprobando así que la puerta NO CUMPLE la normativa actual al aislar menos de 30dBA. En la normativa anterior, la NBE CA-88, no se exigía ningún tipo de aislamiento mínimo para las puertas.



Gráfica 7. Aislamiento acústico normalizado  $D_{nT}$  y global  $D_{nT,w}$  para la partición A

El resto del cerramiento debería cumplir con un aislamiento acústico de 50dBA, pero no pudimos medirlo “in situ” sin tener en cuenta la puerta ya que las puertas que separan el pasillo y de las escaleras estaban abiertas y tenían sistema de seguridad, por lo que no pudimos cerrarlas, sin embargo, con las fichas justificativas del CTE DB-HR veremos, en el punto 9, que si cumple.

## Ruido aéreo del exterior

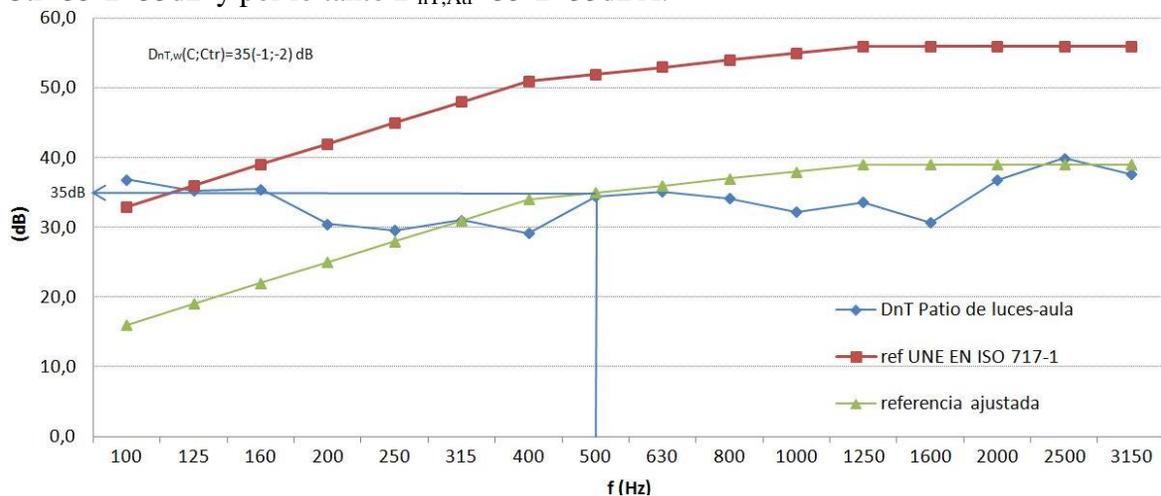
A continuación damos en forma de tabla los valores obtenidos para la partición B.

Tabla 6. Valores obtenidos a ruido aéreo para la partición B, patio de luces - aula 1

VALORES OBTENIDOS A RUIDO AÉREO PARTICION B (PATIO DE LUCES - AULA 1)									
f (Hz)	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	L <sub>2corr</sub>	D L <sub>1</sub> -L <sub>2corr</sub>	D <sub>nT</sub> D+10lg(T2/0,5)	Referencia UNE 717-1	Referencia ajustada
100	81,9	52,2	35,4	2,6	52,2	29,7	36,9	33	16
125	85,5	56,9	31,7	2,3	56,9	28,6	35,3	36	19
160	85,5	56,7	35	2,3	56,7	28,9	35,5	39	22
200	84,8	61,2	34,5	2,4	61,2	23,7	30,5	42	25
250	84,6	60,2	32,2	1,7	60,2	24,4	29,6	45	28
315	85,8	60,0	29	1,7	60,0	25,8	31,1	48	31
400	82,3	58,9	26,4	1,9	58,9	23,4	29,1	51	34
500	86,7	58,1	32,8	1,9	58,1	28,6	34,5	52	35
630	86,4	56,9	23,9	1,9	56,9	29,5	35,1	53	36
800	85,5	56,4	24,2	1,6	56,4	29,1	34,2	54	37
1000	81,9	54,7	23,9	1,6	54,7	27,2	32,2	55	38
1250	79,9	51,5	22,5	1,7	51,5	28,4	33,6	56	39
1600	77,7	52,4	23,6	1,8	52,4	25,3	30,7	56	39
2000	81,9	50,3	21	1,7	50,3	31,5	36,8	56	39
2500	81,8	47,0	15,7	1,6	47,0	34,9	39,9	56	39
3150	78,1	45,1	14,6	1,5	45,1	33,0	37,7	56	39

D<sub>nT,w</sub>=35dB

En la gráfica 8, para la partición B, vemos que obtenemos un aislamiento acústico  $D_{nT,w}(C;Ctr)=35(-1;-2)$ dB. Según el CTE DB-HR, el valor de  $D_{nT,Atm}$  se puede aproximar mediante  $D_{nT,w} + Ctr$ . Como hemos visto, el aislamiento acústico a ruido de tráfico entre el aula y el exterior debe ser como mínimo 30dBA, y como vemos CUMPLE, ya que  $D_{nT,w} + Ctr = 35 - 2 = 33$ dB y por lo tanto  $D_{nT,Atm} = 35 - 2 = 33$ dBA.



Gráfica 8. Aislamiento acústico normalizado  $D_{nT}$  y global  $D_{nT,w}$  para la partición B

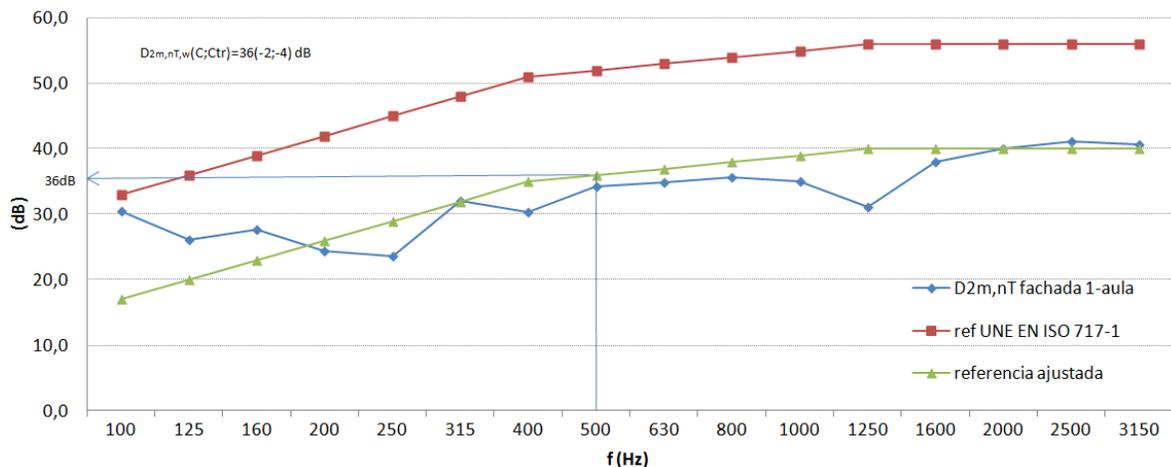
Seguidamente, vemos los valores obtenidos para la partición C, en forma de tabla.

Tabla 7. Valores obtenidos a ruido aéreo para la partición C, fachada 1 - aula 1

VALORES OBTENIDOS A RUIDO AÉREO PARTICION C (FACHADA 1 - AULA 1)									
f (Hz)	L <sub>1,2m</sub>	L <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	L <sub>2corr</sub>	D <sub>2m</sub> L <sub>1,2m</sub> -L <sub>2corr</sub>	D <sub>2m,nT</sub> D+10lg(T2/0,5)	Referencia UNE 717-1	Referencia ajustada
100	73,8	50,4	35,4	2,6	50,4	23,4	30,6	33	17
125	76,0	56,5	31,7	2,3	56,5	19,5	26,1	36	20
160	76,1	55,0	35,0	2,3	55,0	21,0	27,6	39	23
200	76,0	58,4	34,5	2,4	58,4	17,6	24,5	42	26
250	75,6	57,2	32,2	1,7	57,2	18,5	23,6	45	29
315	77,4	50,6	29,0	1,7	50,6	26,8	32,1	48	32
400	73,3	48,6	26,4	1,9	48,6	24,6	30,4	51	35
500	76,8	48,4	32,8	1,9	48,4	28,5	34,3	52	36
630	79,3	50,0	23,9	1,9	50,0	29,3	34,9	53	37
800	82,0	51,3	24,2	1,6	51,3	30,6	35,6	54	38
1000	80,8	50,8	23,9	1,6	50,8	30,0	35,0	55	39
1250	78,9	52,9	22,5	1,7	52,9	26,0	31,2	56	40
1600	81,9	49,3	23,6	1,8	49,3	32,6	38,0	56	40
2000	84,4	49,6	21,0	1,7	49,6	34,8	40,1	56	40
2500	84,8	48,6	15,7	1,6	48,6	36,2	41,2	56	40
3150	81,9	45,9	14,6	1,5	45,9	36,0	40,6	56	40

$D_{2m,nT,w}=36dB$

Como vemos en la gráfica 9, para la partición C, entre el aula y la fachada 1, obtenemos un aislamiento acústico  $D_{2m,nT,w}(C;Ctr)=36(-2;-4)dB$ . Según el CTE DB-HR, el valor de  $D_{2m,nT,Atr}$  se puede aproximar mediante  $D_{2m,nT,w} + Ctr$ . Hemos comprobado que el aislamiento acústico a ruido de tráfico entre un recinto protegido y el exterior debe cumplir  $D_{2m,nT,Atr} \geq 30dB$ , y como vemos CUMPLE, ya que  $D_{2m,nT,w} + Ctr = 36 - 4 = 32dB$  y por lo tanto  $D_{2m,nT,Atr} = 32dB$ .



Gráfica 9. Aislamiento acústico normalizado  $D_{2m,nT}$  y global  $D_{2m,nT,w}$  para la partición C

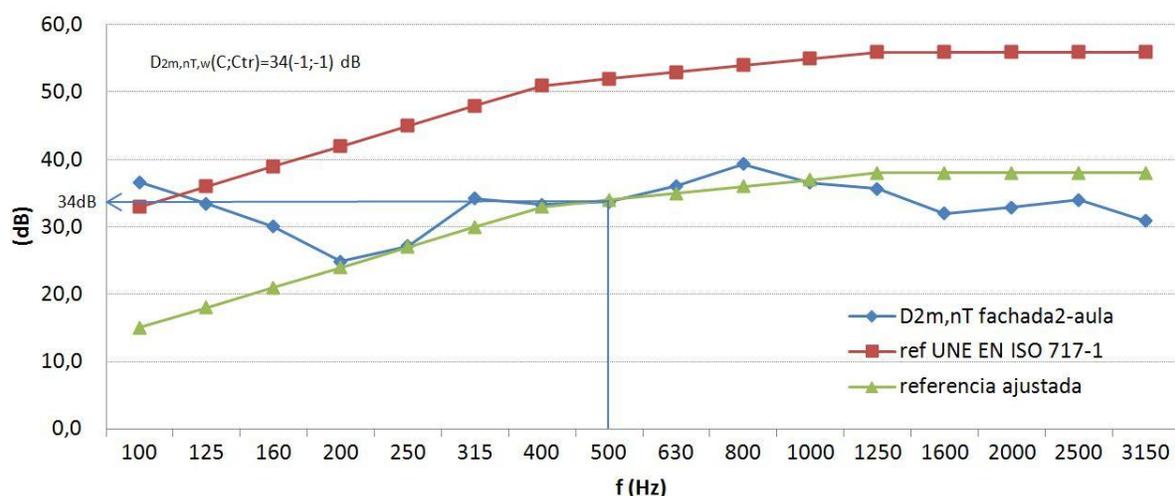
A continuación los valores obtenidos para la partición D, en forma de tabla.

Tabla 8. Valores obtenidos a ruido aéreo para la partición D, fachada 2 - aula 1

VALORES OBTENIDOS A RUIDO AÉREO PARTICION D (FACHADA 2 - AULA 1)										
f (Hz)	L <sub>1,2m</sub>	L <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	L <sub>2corr</sub>	D <sub>2m</sub> L <sub>1,2m</sub> -L <sub>2corr</sub>	D <sub>2m,nT</sub> D+10lg(T2/0,5)	Referencia UNE 717-1	Referencia ajustada	
100	73,8	50,4	35,4	2,6	45,7	29,5	36,7	33	15	
125	76,0	56,5	31,7	2,3	50,3	26,8	33,4	36	18	
160	76,1	55,0	35,0	2,3	55,4	23,4	30,0	39	21	
200	76,0	58,4	34,5	2,4	57,9	18,1	24,9	42	24	
250	75,6	57,2	32,2	1,7	53,0	22,0	27,1	45	27	
315	77,4	50,6	29,0	1,7	48,1	29,0	34,2	48	30	
400	73,3	48,6	26,4	1,9	48,1	27,5	33,3	51	33	
500	76,8	48,4	32,8	1,9	51,9	27,9	33,7	52	34	
630	79,3	50,0	23,9	1,9	51,6	30,5	36,1	53	35	
800	82,0	51,3	24,2	1,6	50,2	34,3	39,4	54	36	
1000	80,8	50,8	23,9	1,6	50,9	31,6	36,6	55	37	
1250	78,9	52,9	22,5	1,7	49,3	30,5	35,7	56	38	
1600	81,9	49,3	23,6	1,8	56,3	26,7	32,0	56	38	
2000	84,4	49,6	21,0	1,7	58,7	27,6	32,9	56	38	
2500	84,8	48,6	15,7	1,6	56,1	29,0	34,0	56	38	
3150	81,9	45,9	14,6	1,5	50,5	26,2	30,9	56	38	

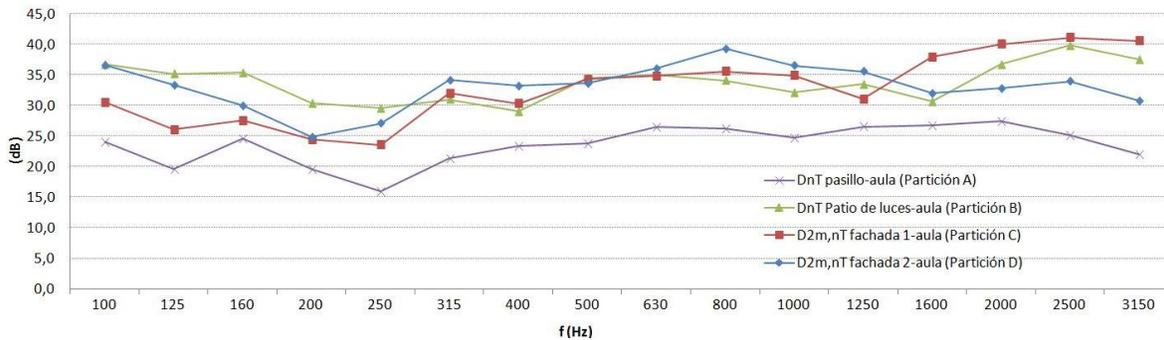
D<sub>2m,nT,w</sub>=34dB

En la gráfica 10, para la partición D, entre el aula y la fachada 1, podemos ver que obtenemos  $D_{2m,nT,w}(C;Ctr)=34(-1;-1)$ dB. Al igual que para la partición C, vemos que CUMPLE, ya que  $D_{2m,nT,w}+Ctr=34-1=33$ dB y por lo tanto  $D_{2m,nT,AtT}=33$ dB, mayor que 30dB.



Gráfica 10. Aislamiento acústico normalizado  $D_{2m,nT}$  y global  $D_{2m,nT,w}$  para la partición D

En la siguiente gráfica, vemos a modo de comparativa visual los distintos aislamientos obtenidos en las distintas particiones.



Gráfica 11. Aislamiento acústico normalizado  $D_{nT}$  para cada partición

Como podemos ver en la gráfica 11, las 3 particiones recayentes al exterior mantienen una similitud entre sus curvas, y además cumplen con la normativa, mientras que la partición del pasillo, en este caso por la falta de aislamiento de la puerta, es bastante inferior no llegando a cumplir las exigencias del CTE.

## 8.2. RUIDO DE IMPACTO

El CTE DB-HR exige un nivel máximo de 65dB de nivel global de ruido de impactos,  $L'_{nT,w}$ , para el elemento de separación horizontal entre un recinto receptor protegido y cualquier recinto no perteneciente a la unidad de uso. Así pues, cuanto más bajo sea este nivel, mejor será el aislamiento.

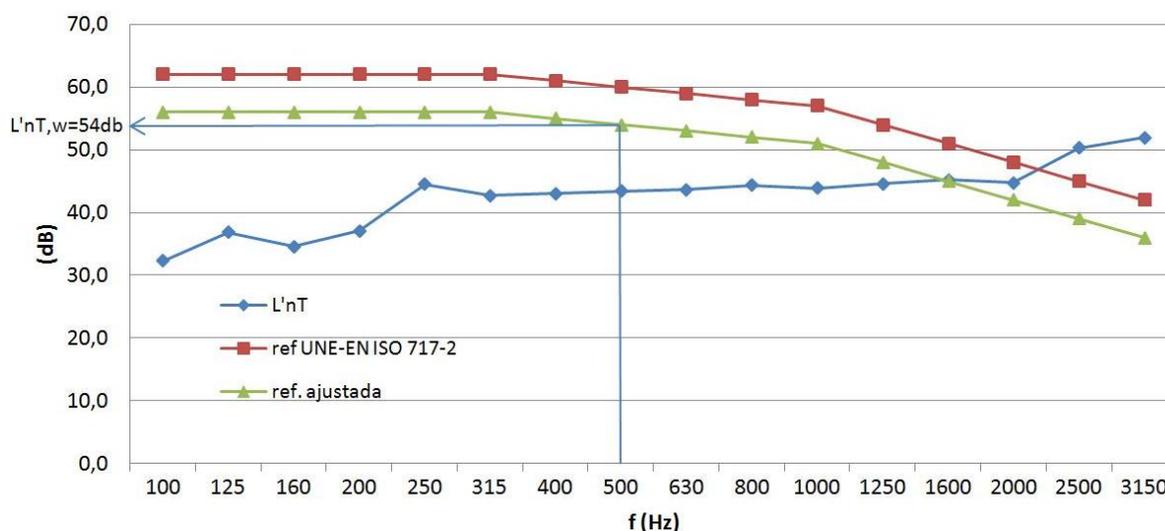
Tras la toma de medidas y según la metodología explicada en el punto 7 de este proyecto, obtenemos los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 9. Valores obtenidos a ruido de impacto

RUIDO DE IMPACTO - AULA 1									
f (Hz)	L <sub>2</sub> Pos1	L <sub>2</sub> Pos2	L <sub>2</sub> Promedio	B <sub>2</sub> Ruido de fondo	L <sub>2</sub> corregido por ruido de fondo	T <sub>R</sub>	L' <sub>nT</sub> L <sub>2cor</sub> -10lg(T <sub>R</sub> /0'5)	Referencia UNE 717-2	Ref. ajustada
100	41,4	40,2	40,8	35,4	39,5	2,6	32,3	62	56
125	43,8	43,1	43,5	31,7	43,5	2,3	36,9	62	56
160	40,5	43,2	42,1	35	41,2	2,28	34,6	62	56
200	42,7	45,6	44,4	34,5	43,9	2,4	37,1	62	56
250	50,1	49,3	49,7	32,2	49,7	1,65	44,5	62	56
315	48,6	47,2	48	29	48	1,69	42,7	62	56
400	49,5	47,9	48,8	26,4	48,8	1,88	43	61	55
500	49,1	49,5	49,3	32,8	49,3	1,93	43,4	60	54
630	49,2	49,3	49,3	23,9	49,3	1,83	43,7	59	53
800	49,3	49,4	49,4	24,2	49,4	1,59	44,4	58	52
1000	49,3	48,5	48,9	23,9	48,9	1,59	43,9	57	51
1250	49,8	49,6	49,7	22,5	49,7	1,63	44,6	54	48
1600	50,2	50,9	50,6	23,6	50,6	1,72	45,2	51	45
2000	49,9	50	50	21	50	1,69	44,7	48	42
2500	55,4	55,1	55,3	15,7	55,3	1,59	50,3	45	39
3150	55,8	57,3	56,6	14,6	56,6	1,47	51,9	42	56
									<b>L'<sub>nT,w</sub>=54dB</b>

Una vez tenemos los niveles de presión de ruido de impactos estandarizado  $L'_{nT}$ , representados en la tabla 9 y a continuación en la gráfica 12, hallamos el nivel global de ruido de impactos,  $L'_{nT,w}$ , del elemento separador horizontal superior del aula 1, utilizando el método de comparación de la norma ISO 717-2, consistente en ir desplazando la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor que 32,0 dB.

En este caso, se produce una desviación desfavorable en una determinada frecuencia cuando el resultado de las mediciones es superior al valor de referencia. De acuerdo con este procedimiento, después del desplazamiento, el valor en decibelios de la curva de referencia a 500 Hz, es el del nivel global de ruido de impactos estandarizado,  $L'_{nT,w}$ .



Gráfica 12. Espectro de  $L'_{nT}$  y nivel global de ruido de impactos  $L'_{nT,w}$

Como vemos en la gráfica 12, el nivel global de ruido de impacto  $L'_{nT,w}$  es 54dB, el cual no es superior a 65dB, que es el valor máximo admisible por el CTE DB-HR, y por lo tanto el aula CUMPLE con el aislamiento a ruido de impactos.

### 8.3. TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Una vez tomadas las medidas “in situ”, y siguiendo el procedimiento descrito en el apartado de metodología empleada, obtenemos la curva de decaimiento de la reverberación mediante el software Dirac, la cual vemos en la figura 30, a continuación.

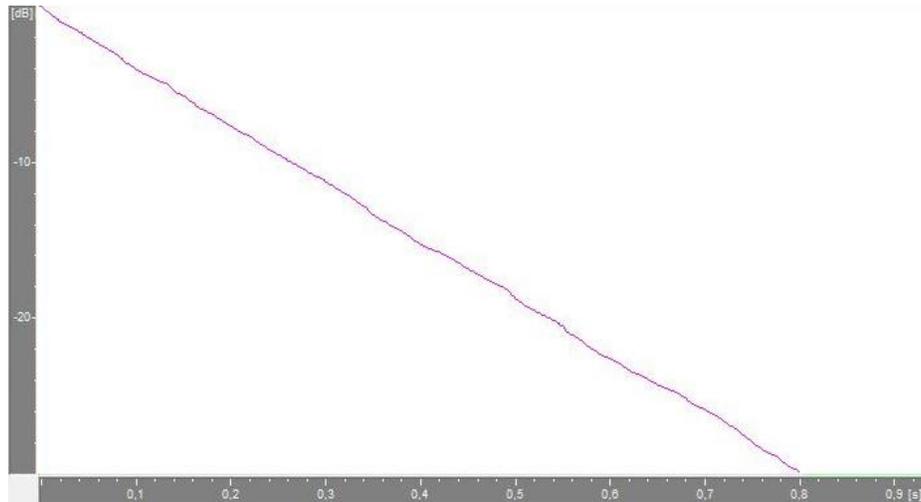


Figura 30. Curva de decaimiento de 30dB en el aula 1, para todas las frecuencias

Teniendo en cuenta que la curva de caída representada es de 30dB y el tiempo de reverberación del aula se calcula a 60dB, es decir el doble del resultado mostrado en la gráfica, ya podemos deducir que no cumplirá con la normativa, al saber que se pide un máximo de 0,5s y a mitad de caída ya lo hemos superado al obtener alrededor de 0,8s.

En la siguiente tabla se dan los resultados de las mediciones “in situ” del tiempo de reverberación y comprobamos como nos dan unos valores promedio muy altos en todas las frecuencias.

Tabla 10. Valores obtenidos del tiempo de reverberación por frecuencias

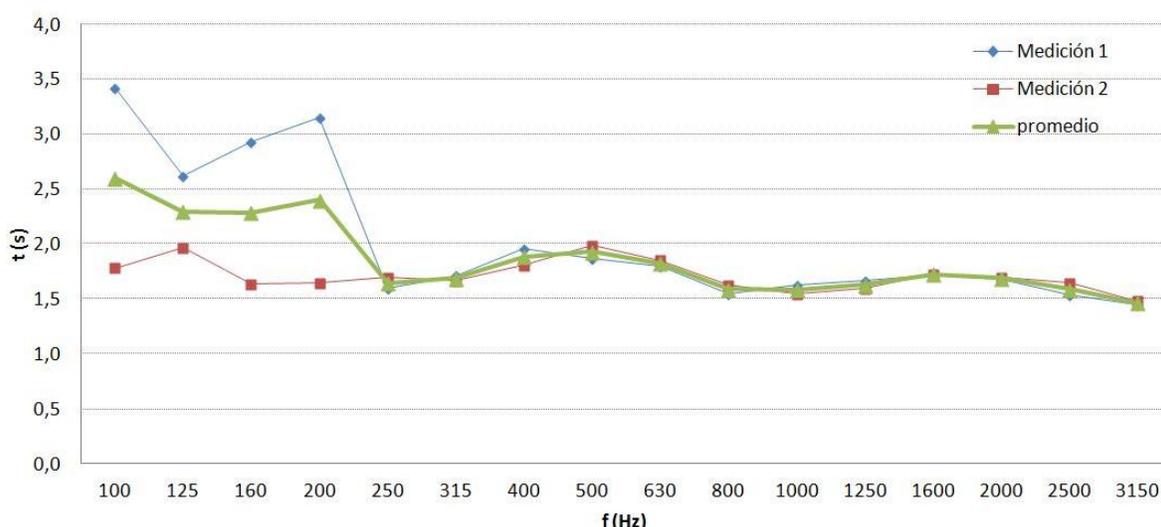
TIEMPO DE REVERBERACIÓN AULA 1			
f (Hz)	Medición 1 (s)	Medición 2 (s)	Promedio $T_2$ (s)
100	3,42	1,78	2,6
125	2,62	1,97	2,3
160	2,93	1,63	2,3
200	3,15	1,65	2,4
250	1,6	1,69	1,7
315	1,71	1,66	1,7
400	1,95	1,81	1,9
500	1,86	1,99	1,9
630	1,79	1,85	1,9
800	1,54	1,63	1,6
1000	1,62	1,54	1,6
1250	1,66	1,59	1,7
1600	1,72	1,72	1,8
2000	1,68	1,69	1,7
2500	1,53	1,64	1,6
3150	1,47	1,48	1,5
			$T_{Rmid}=1,7s$

Para comprobar si el tiempo de reverberación del aula cumple con el CTE, se calcula  $T_{Rmid}$ , siendo éste el tiempo de reverberación medio para las frecuencias 500, 1000 y 2000Hz. El motivo por el cual se cogen estas tres bandas es porque la frecuencia de 500Hz se considera como la más baja para la inteligibilidad de la voz, la de 2000Hz se puede considerar la más alta y 1000Hz la media.

Como vemos en la tabla 10, el resultado del  $T_{Rmid}$  calculado es 1,7s, muy superior a los 0,5s con los que debería cumplir para un aula destinada a la palabra. Esto hace que las palabras no se entiendan claramente al haber una sustancial prolongación de éstas, interfiriendo en la inteligibilidad, ya que el oyente percibirá a la vez el sonido directo de una sílaba y las reflexiones precedentes de la sílaba anterior con un alto nivel, por lo que podemos deducir que el aula no está acondicionada para el uso docente al que está destinado. Esto se produce por la falta de materiales absorbentes, que hacen que el sonido se refleje, en lugar de ser absorbido, dando lugar a un espacio demasiado reverberante.

La normativa anterior, la NBE CA-88, no exigía ningún tiempo de reverberación mínimo pero recomendaba que fuera entre 0,8 y 1,5s. Como vemos tampoco cumpliría con la recomendación de la anterior norma.

La curva tonal, en la gráfica 13, representa el tiempo de reverberación medido “in situ” en el aula 1, en función de la frecuencia.



Gráfica 13. Curva tonal  $T_{r30}$  del aula 1

De esta forma, podemos ver que en la primera medición hay una mayor reverberación a bajas frecuencias, mientras que en la segunda hay un equilibrio entre todas ellas. De haber tomado más medidas podríamos deducir si ha habido un error en la medición, pero vemos más correcta la medición 2. De todas formas, esto no nos influye a la hora de hallar el tiempo de reverberación medio para las frecuencias 500, 1000 y 2000Hz.

## 9. FICHAS JUSTIFICATIVAS CTE DB-HR

A continuación se adjuntan las fichas justificativas de la opción general del Código Técnico de la Edificación DB-HR “Protección frente al ruido”.

Se han rellenado tres fichas en total, de la siguiente manera:

- Una conjunta para las fachadas 1 y 2, en esquina.
- Otra para el patio de luces.
- Y una última de la partición del fondo, recayente a las escaleras.

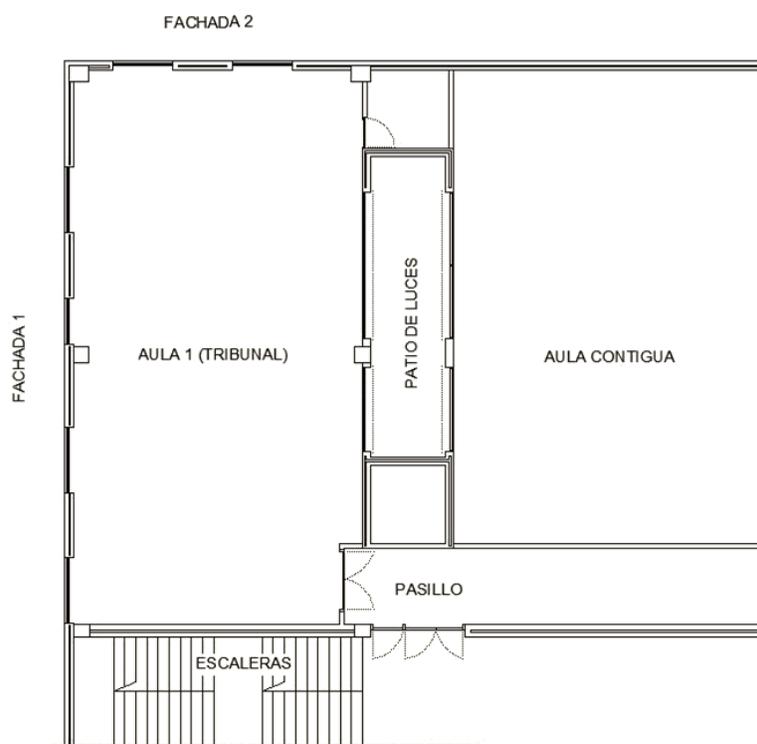


Figura 31. Plano planta aula 1

Al no disponer de los datos exactos de los materiales empleados en la construcción de los paramentos, como soluciones constructivas se han tomado supuestos teóricos y los datos de aislamiento basados en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

Además, no incluimos en estas fichas la parte que recae al pasillo, debido a que básicamente solo está separado del aula mediante la puerta, y como hemos visto en los resultados de aislamiento a ruido aéreo, no cumple y tan sólo habría que colocar una puerta con un índice de reducción acústica  $R_A \geq 30$  dBA.

Una vez rellenadas las fichas del CTE, en su opción simplificada, comprobamos a continuación como CUMPLE esta normativa.

Proyecto	Edificio 1C UPV - ETSIE - Aula 1 (Tribunal)	
Autor	Javier Lozano Iñiguez	
Fecha	29-may-11	
Referencia	Fachada 1 y Fachada 2	

Características técnicas de la fachada y edificio							
Tipo de Ruido Exterior	Automóviles			$L_d$ (dBA)	60		
Forma de fachada a	Plano de Fachada			$\Delta L_{fs}$ (dB)	0		
Forma de fachada b	Plano de Fachada			$\Delta L_{fs}$ (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 <sup>2</sup> )	$l_i$ (m)	$m'_i$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_{A,tr}$ (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	320,78 m <sup>3</sup>		
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 <sup>2</sup> )	$l_{i,a}$ (m)	$l_{i,a}$ (m)	$m'_i$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_A$ (dBA)	$R_{A,tr}$ (dBA)	$\Delta R_A$ (dBA)
Sección Separador 1	19,4	-	-	157	56	51	0
Sección Separador 2	37,17	-	-	157	56	51	0
Suelo f1	115,39	8,2	14,87	750	67	-	7
Techo f2	115,39	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

Huecos en el separador					
Ventanas, puertas y lucernarios Fachada a		S (m <sup>2</sup> )	R <sub>A,tr</sub> (dBA)	R <sub>A</sub> (dBA)	ΔR (dB)
		Hueco 1	8	30	34
	Hueco 2	2	0	0	0
	Hueco 3	3	0	0	0
	Hueco 4	4	0	0	0
Ventanas, puertas y lucernarios Fachada b		S (m <sup>2</sup> )	R <sub>A,tr</sub> (dBA)	R <sub>A</sub> (dBA)	ΔR (dB)
		Hueco 1	17,5	30	34
	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 <sub>n,e1,Atr</sub> (dBA)	40
	transmisión directa II	D <sub>n,e2,Atr</sub> (dBA)	-
	transmisión indirecta	D <sub>n,s,Atr</sub> (dBA)	-
Vías de transmisión aérea Fachada b	transmisión directa I	D <sub>n,e1,Atr</sub> (dBA)	-
	transmisión directa II	D <sub>n,e2,Atr</sub> (dBA)	-
	transmisión indirecta	D <sub>n,s,Atr</sub> (dBA)	-

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	K <sub>Ff</sub>	K <sub>Fd</sub>	K <sub>Dr</sub>
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 <sub>2m,nT,Atr</sub> (dBA)	36	30	CUMPLE

Proyecto	Edificio 1C UPV - ETSIE - Aula 1 (Tribunal)	
Autor	Javier Lozano Iñiguez	
Fecha	29-may-11	
Referencia	Patio de luces	

Características técnicas de la fachada y edificio							
Tipo de Ruido Exterior	Automóviles			$L_d$ (dBA)	60		
Forma de fachada	Plano de Fachada			$\Delta L_{fs}$ (dB)	0		
<b>Soluciones Constructivas</b>							
Sección Separador	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F1	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F2	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F3	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Sección Flanco F4	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
<b>Parámetros Acústicos</b>							
	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	$l_i$ (m)	$m'_i$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_{A, tr}$ (dBA)	$R_A$ (dBA)		
Sección Separador	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	320,78 m <sup>3</sup>		
<b>Soluciones Constructivas</b>							
Sección Separador	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Suelo f1	LM 300 mm						
Techo f2	LM 300 mm						
Pared f3	RE + LP 115 + CV + T + AT + YL 15 (valores mínimos)						
Pared f4	Enl 15 + LHD 115 + Enl 15 (valores mínimos)						
<b>Parámetros Acústicos</b>							
	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	$l_i$ (m)	$m'_i$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_A$ (dBA)	$R_{A, tr}$ (dBA)	$\Delta R_A$ (dBA)	
Sección Separador	42,3394	-	157	56	51	0	-
Suelo f1	115,39	14,75	750	67	-	7	-
Techo f2	115,39	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					
		$S$ (m <sup>2</sup> )	$R_{A, tr}$ (dBA)	$R_A$ (dBA)	$\Delta R$ (dB)
Ventanas, puertas y lucernarios	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

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	Edificio 1C UPV - ETSIE - Aula 1 (Tribunal)	
Autor	Javier Lozano Iñiguez	
Fecha	29-may-11	
Referencia	Partición del fondo (escaleras)	

Características técnicas del recinto 1							
Tipo de recinto como emisor	Unidad de uso						
Tipo de recinto como receptor	-	Volumen	320,78 m <sup>3</sup>				
<b>Soluciones Constructivas</b>							
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)						
<b>Parámetros Acústicos</b>							
	S <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	l <sub>i</sub> (m)	m' <sub>i</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	R <sub>A</sub> (dBA)	L <sub>n,w</sub> (dB)	ΔR <sub>A</sub> (dBA)	ΔL <sub>w</sub> (dB)
Separador	19,9048	-	130	44	-	0	-
Suelo F1	115,39	4	750	67	63	0	0
Techo F2	115,39	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 <sup>3</sup>				
<b>Soluciones Constructivas</b>							
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)						
<b>Parámetros Acústicos</b>							
	S <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	l <sub>i</sub> (m)	m' <sub>i</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	R <sub>A</sub> (dBA)	L <sub>n,w</sub> (dB)	ΔR <sub>A</sub> (dBA)	ΔL <sub>w</sub> (dB)
Separador	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 <sup>2</sup> )	0
	índice de reducción	R <sub>A</sub> (dBA)	0
Vías de transmisión aérea	transmisión directa	D <sub>n,e,A</sub> (dBA)	0
	transmisión indirecta	D <sub>n,s,A</sub> (dBA)	0

## Documento Básico HR Protección frente al ruido

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

## 10. MEDIDAS A ADOPTAR

La siguiente tabla muestra a modo de resumen las condiciones acústicas del aula 1, mediante los resultados de las mediciones “in situ” de los parámetros requeridos por el CTE DB-HR.

Tabla 11. Resumen de cumplimiento del CTE DB-HR del aula 1

RESUMEN DE CUMPLIMIENTO DE CONDICIONES ACÚSTICAS DEL CTE DB-HR EN EL AULA 1									
CONDICIONES ACÚSTICAS			ELEMENTO A EVALUAR		PARÁMETRO A EVALUAR	REQUISITO CTE DB-HR		RESULTADO	
Aislamiento acústico	a ruido aéreo	entre locales	Partición A	Aula 1 – Pasillo (puerta)	$R_A$	$\geq 30$	dBA	25	NO CUMPLE
				Aula 1 – Escaleras (cerramiento)	$D_{nT,A}$	$\geq 50$	dBA	50	CUMPLE
		del exterior	Partición B	Aula 1 - Patio de luces	$D_{nT,Atr}$	$\geq 30$	dBA	33	CUMPLE
			Partición C	Aula 1 - Fachada 1	$D_{2m,nT,Atr}$	$\geq 30$	dBA	32	CUMPLE
			Partición D	Aula 1 - Fachada 2	$D_{2m,nT,Atr}$	$\geq 30$	dBA	33	CUMPLE
	a ruido de impacto	Elemento separador horizontal superior		$L'_{nT,w}$	$\leq 65$	dB	54	CUMPLE	
Acondicionamiento acústico	Tiempo de reverberación		Aula 1		$T_{rmid}$	$\leq 0,5$	s	1,7	NO CUMPLE

Como hemos comprobado, en cuanto al aislamiento acústico los cerramientos cumplen la normativa actual, pero la puerta no la cumple por falta de aislamiento. En cuanto al acondicionamiento acústico vemos un exceso del valor requerido para el tiempo de reverberación en el aula, por lo cual no cumple este requisito. Se deberían adoptar medidas al respecto, tanto en la puerta como en el acondicionamiento acústico.

### *Solución al aislamiento de la puerta*

Una medida a adoptar para aumentar el aislamiento entre el aula y el pasillo sería revestir la puerta con material aislante y colocar burletes.



Otra posible solución sería colocar otra puerta paralela con una separación entre la anterior para hacer de cámara a la vez que dejar abrir la nueva puerta, como vemos en la figura 32.

En el estado actual la puerta aísla 25dB, por lo que tan solo haría falta mejorar el aislamiento actual en 5dB para llegar al mínimo exigido por la normativa actual. Obviamente, cuanto más aíse mejor.

Figura 32. Solución doble puerta para aumentar el aislamiento aula-pasillo.

Otra opción sería reemplazar la puerta existente por una puerta acústica, que aunque más elevadas de precio respecto a las normales, nos proporcionan mejores prestaciones, con un aislamiento superior, a la vez que más comodidad y ahorro en espacio respecto a la anterior solución aportada. Al elegir ésta puerta habría que fijarse en que el índice de reducción acústica sea  $R_A \geq 30\text{dBA}$ , cuanto más alto mejor.

### ***Solución al tiempo de reverberación excesivo***

Para hacer que el tiempo de reverberación cumpla con las exigencias, al tratarse de un recinto de dimensiones no muy elevadas, resultará suficiente la medida de actuación basada en la instalación de materiales absorbentes en el techo, aunque también es aconsejable colocar absorción en la parte superior de la pared del fondo para evitar posibles reflexiones molestas.

El CTE DB-HR establece la posibilidad de determinar la absorción mínima necesaria en el techo para cumplir con sus requisitos. Esta absorción mínima ( $\alpha_m$ ), se obtiene a partir de la fórmula de Sabine, quedando de la siguiente manera:

$$\alpha_m \geq h \cdot \frac{0.162}{T_R} - \frac{0.12}{\sqrt{S}}$$

Donde

$\alpha_m$  coeficiente de absorción acústica medio para las frecuencias 500, 1000 y 2000Hz.

$T_R$  es el tiempo de reverberación máximo permitido, es decir, 0,5s

$S$  es la superficie del techo, en este caso 115,39m<sup>2</sup>.

$h$  es la altura del aula, 2,78m.

Sustituyendo los datos obtenemos:

$$\alpha_m \geq 2,78 \cdot \frac{0.162}{0,5} - \frac{0,12}{\sqrt{115,39}} \geq 0,88$$

A continuación comprobamos, mediante la fórmula de Sabine, el tiempo de reverberación teórico que tendríamos con un techo de material  $\alpha_m = 0,88$

$V$  es el volumen del aula = 320,78m<sup>3</sup>

$S$  es la superficie total = 356,34 m<sup>2</sup>

Superficie del techo = 115,39m<sup>2</sup>

Primero hallamos el coeficiente de absorción medio del aula en el estado actual, para el  $T_R$  obtenido mediante la medición “in situ”:

$$\alpha_{m,actual} = \frac{0,162 \cdot V}{T_R \cdot S} = \frac{0,162 \cdot 320,78}{1,7 \cdot 356,34} = 0,085$$

Ahora restamos la superficie del techo a la total.

$$356,34 - 115,39 = 240,95m^2$$

Con  $\alpha_m = 0,88$  en el techo y suponiendo  $\alpha_{m,actual} = 0,085$  en el resto de superficie del aula, obtenemos el tiempo de reverberación que conseguiríamos:

$$T_{R,nuevo} = \frac{0,162 \cdot V}{\sum \alpha \cdot S} = \frac{0,162 \cdot 320,78}{(0,88 \cdot 115,39) + (0,085 \cdot 240,95)} = 0,42s$$

Efectivamente, colocando un falso techo de material absorbente de coeficiente de absorción medio 0,88 tendríamos un tiempo de reverberación adecuado para la aula, al ser inferior a los 0,5s máximos que exige el CTE DB-HR.

Tan sólo quedaría recurrir a los catálogos comerciales y elegir aquellos materiales acústicos absorbentes que cumplan  $\alpha_m \geq 0,88$ , con certificación acústica y de mayor calidad, en la medida de lo posible según el presupuesto del que se disponga.

## 11. CONCLUSIONES

La toma de medidas por encima de las mínimas establecidas por la normativa es un parámetro de calidad, que cada vez se tiene más en cuenta en la construcción. En nuestro caso, al ser un aula docente, hay que poner especial atención en el aislamiento acústico de ruidos provenientes tanto del interior como del exterior del edificio, siendo imprescindible para que éstos no influyan o intentando que influyan en la menor medida de lo posible en el desarrollo normal de la actividad docente, sin que distraiga al receptor ni al emisor del mensaje. Pero el aislamiento acústico sólo no es suficiente para garantizar el confort acústico, ya que para conseguir reunir las condiciones óptimas para la docencia también hay que cuidar el diseño interior del aula, para que el mensaje se transmita con la máxima calidad posible.

En referencia al aislamiento acústico del aula, como hemos demostrado con los resultados de las mediciones “in situ”, en el caso de aislamiento a ruido aéreo del exterior, los cerramientos del aula 1 cumplen con los requisitos mínimos del Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico HR de protección frente al ruido. Sin embargo, no hemos podido medir “in situ” el aislamiento a ruido aéreo entre locales del cerramiento que da a la escalera, sin tener en cuenta la puerta, pero hemos llegado a la conclusión de que cumple mediante las fichas justificativas del CTE en su opción simplificada, realizadas a partir de parámetros básicos supuestos para este caso, al no disponer de los datos de los materiales exactos que fueron empleados finalmente en su construcción. En el caso de la medición entre el aula 1 y el pasillo, separados básicamente por la puerta, hemos comprobado que la puerta no cumple a ruido aéreo al aislar menos de los 30dBA requeridos por la normativa actual, pero la anterior normativa con la que se diseñó el edificio no exigía ningún aislamiento mínimo a las puertas. Como hemos visto en el punto 10 de este proyecto, se deberían adoptar medidas al respecto, bien añadiendo otra puerta paralela a la actual con una cámara entre ellas, o bien reemplazando la actual por una puerta acústica.

Así como actualmente se tiene muy en cuenta el tipo de ventanas que se colocan en las fachadas, con mejores índices de reducción acústica que las normales, o al igual que las puertas cortafuegos, que debido al CTE ya son básicas en el interior de los edificios de nueva construcción, se debería también poner más atención en el aspecto del aislamiento acústico de las puertas. La puerta es un punto muy importante a tener en cuenta, porque en general suele ser la parte menos aislada acústicamente y por lo tanto es por donde puede entrar más ruido. Los ruidos discontinuos pueden llegar a molestar y distraer mucho más que los ruidos constantes, como pueden ser los del tráfico o las propias instalaciones del edificio. En nuestro caso, precisamente el ruido que proviene del pasillo es discontinuo, ya que, por ejemplo, puede darse por alumnos que salgan de otras clases generando ruidos durante un cierto periodo de tiempo, por lo que de tener una puerta bien aislada se reduciría considerablemente la transmisión al interior de estos molestos ruidos.

Hemos comprobado que el nivel de ruido de fondo que hay en el aula es adecuado para realizar la actividad docente con normalidad, tomando como referencia las curvas Noise Criteria (criterio de ruido), que establecen los niveles de ruido máximos admisibles para distintos tipos de locales de acuerdo con su función.

En cuanto al acondicionamiento acústico, hemos comprobado que el tiempo de reverberación no es adecuado para la docencia, al triplicar el valor máximo de 0,5s que requiere el CTE DB-HR para un aula acondicionada para esta actividad y estas características. El aula es reverberante al no tener un tratamiento acústico, lo que hace que el mensaje que se intenta transmitir no sea lo inteligible y claro que debería, reduciendo el aprendizaje de los alumnos. En este sentido, deberíamos hacer un tratamiento acústico mediante materiales fonoabsorbentes en el techo, ya que su superficie respecto a la total representa un porcentaje grande por lo que tendría una gran influencia sobre el comportamiento acústico, como hemos demostrado en el punto 10 de este proyecto, consiguiendo que el mensaje hablado se entienda mejor.

La normativa sobre acústica es cada vez más exigente, aumentando a su vez las exigencias en los materiales y procesos de construcción. El edificio se construyó con anterioridad al CTE, por lo que la norma que se aplicó fue la NBE CA-88, pero como hemos podido comprobar, el aula 1 está bien aislada acústicamente, a excepción de la puerta, cuya solución no es excesivamente costosa, con lo cual tenemos un ruido de fondo adecuado y mientras no se generen ruidos en el pasillo la actividad de docencia se podrá llevar a cabo sin molestias. Sin embargo, el aula no está bien acondicionada para el uso al que está destinado, siendo el tiempo de reverberación muy elevado, haciendo más difícil entender la palabra.

Como vemos, los problemas derivados de la acústica aparecen por no tenerla en cuenta durante la fase de diseño, ni en su construcción, y de tener que ser solucionados a posteriori requieren de un sobrecoste adicional. Por lo tanto, se deberá tener en cuenta la acústica en el diseño arquitectónico, tanto el aislamiento como el acondicionamiento. Con un buen aislamiento acústico se consigue un mayor rendimiento, confort, calidad y bienestar, asegurando un ambiente silencioso y relajado que junto a un buen acondicionamiento acústico se obtienen las condiciones óptimas para su debido uso.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

Arau, Higini

*ABC de la acústica*

Grupo Editorial CEAC, S.A., Barcelona, 1999. 336p. ISBN: 9788432920172.

[págs. 81, 175-187, 216-217]

Carrión Isbert, Antoni

*Diseño acústico de espacios arquitectónicos*

Edicions UPC, Barcelona, 2006. 433p. ISBN: 84-8301-252-9

[págs. 42-43, 69-70, 151-154]

Llinares, J.; Llopis, A.; Sancho, J.

*Acústica arquitectónica y urbanística*

Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, 1991. 387p.

ISBN: 84-7721-133-7.

[págs. 121-130, 176-182, 251-261]

Llinares Galiana, J.; Llopis Reyna, A.; Sancho Vendrell, F.J.; Gómez Lozano, V.; Guillén Guillamón, I.

*Ampliación de física acústica*

Editorial UPV, Valencia, 2011. 125p. Ref.: 2011.70

[págs. 3-5, 63-65, 70-73, 79-88, 90-91, 106-108]

Martínez, R.; Reig, D.; Salandín, A.; Sánchez, R.; Tort, I.

*Apuntes de fundamentos físicos de la arquitectura técnica*

Editorial UPV, Valencia, 2002. 129p. Ref.: 2002.573

[págs. 89-91, 105-106]

Meisser, Mathias

*Acústica de los Edificios*

Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona, 1973. 253p.

[págs. 47-53]

Ramis Soriano, J.; Uris Martínez, A.; Alba Fernández, J.; Martínez Mora, J.A.

*Curso experimental de acústica de salas*

Servicio de publicaciones UPV, Valencia, 1998. 215p. ISBN: 84-7721-604-5

[págs. 45-46]

Recuero López, Manuel

*Acondicionamiento acústico*

Editorial Paraninfo, 2001. 299p. ISBN: 84-283-2799-8.

[págs. 138-143]

- Recuero López, Manuel  
*Ingeniería acústica*  
Editorial Paraninfo, Madrid, 1999. 670p. ISBN: 84-283-2639-8.  
[págs. 283-284, 378-405, 520]
- Rodríguez Rodríguez, F.J.; De La Puente Crespo, J.; Díaz Sanchidrián, C.  
*Guía acústica de la construcción*  
Editorial Dossat, 1998. 351p. ISBN: 8496437817.  
[págs. 24-39, 58-65, 81-90, 209-218]
- Catálogo URSA, *Aislamiento térmico y acústico*  
URSA Ibérica Aislantes S.A., Septiembre 2010, 151p.
- Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción; CEPCO; AICIA  
*Catálogo de Elementos Constructivos del CTE*  
Marzo 2010. 141p.
- Código Técnico de la Edificación. *Documento Básico HR: Protección frente al ruido*  
Septiembre 2009. 90p.
- Norma Básica de la Edificación (NBE CA-88) – *Condiciones acústicas en los edificios*  
Ediciones Liteam, Madrid, 2000. 55p.
- UNE-EN ISO 140 “Aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción”
- UNE-EN ISO 140-4 1999 “Aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición in situ del aislamiento al ruido aéreo entre locales”.
- UNE-EN ISO 140-5 1999 “Aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas”.
- UNE-EN ISO 140-7 1999 “Aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos”.
- UNE-EN ISO 717 “Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción”.
- UNE-EN ISO 717-1 1997 “Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo”.

UNE-EN ISO 717-2 1997 “Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos”.

UNE-EN ISO 3382-2 2008 “Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios”.

### ***Referencias electrónicas***

Asociación Española de Normalización y Certificación  
[www.aenor.es](http://www.aenor.es)  
[Abril de 2011]

Ayuntamiento de Valencia. *Contaminación acústica*  
[www.valencia.es/ayuntamiento/maparuido.nsf](http://www.valencia.es/ayuntamiento/maparuido.nsf)  
[Abril de 2011]

Brüel & Kjaer  
[www.bksv.com](http://www.bksv.com) y [www.bksv.es](http://www.bksv.es)  
[Abril de 2011]

Código Técnico de la Edificación  
[www.codigotecnico.org](http://www.codigotecnico.org)  
[Marzo de 2011]

Endevco – Meggitt Sensing Systems  
[www.endevco.com](http://www.endevco.com)  
[Mayo de 2011]

Universidad de Córdoba. *Documentación técnica sobre ruido*  
<http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/temario.htm>  
[Marzo de 2011]

URSA Ibérica Aislantes S.A.  
[www.ursa.es](http://www.ursa.es)  
[Marzo de 2011]

## **ANEXO I. TOMA DE DATOS Y CÁLCULOS**

f (Hz)	Nivel de presión sonora pasillo										Nivel de presión sonora Aula 1										Nivel de ruido de fondo Aula 1										Tiempo de reverberación			D	D <sub>ref</sub> D+10lg(T/0.5)	Referencia UNE 717-1	Referencia ajustada	A Sabine 0,162·V/72	α coeficiente absorción
	L1		Mediciones		L2		Mediciones					B2		Mediciones					T2 (T30)			L2 <sub>corregido</sub>	L-1-L2 <sub>corr</sub>																
	promedio	Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.4	Pos.5	Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.4	Pos.5	Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.4	Pos.5	promedio	Pos.1	Pos.2	Pos.3																			
100	77,8	83,6	78	80,9	64,8	61,6	60,8	61,3	63,5	57,7	57	35,4	35,7	33,7	33,4	36,6	36,4	3,6	3,42	1,78	60,8	16,9	24,1	33	6	19,953	0,0560												
125	76,9	79,3	80,6	75,5	66,5	64,9	63,9	65,5	64,7	58,8	64,5	31,7	32	33,4	30,4	30,3	31,4	2,3	2,62	1,97	63,9	13	19,6	36	9	22,614	0,0635												
160	81,8	87,3	82,3	74,2	71,5	64,2	63,7	65,9	63	63,7	63,4	35	31,8	34,7	33,3	38,4	33,5	2,3	2,93	1,63	63,7	18,1	24,7	39	12	22,747	0,0638												
200	82,8	85,1	87	78,6	73,7	74,2	70	69,6	70,5	71,1	70,9	34,5	31,3	39	30,8	32,5	32,6	2,4	3,15	1,65	70	12,8	19,6	42	15	21,163	0,0607												
250	81,9	85,2	83,7	81,9	75	71,5	71	72,5	74	71	65	32,2	31	33,2	29,1	33,6	32,5	1,7	1,6	1,69	71	10,8	16	45	18	31,523	0,0885												
315	84,8	89,6	86,9	77,9	75,3	72,7	68,7	69,4	68,7	69,9	63,9	29	30,7	31,1	26	27,1	28	1,7	1,71	1,66	68,7	16,1	21,4	48	21	30,704	0,0863												
400	86,6	91,2	86,3	82,1	78,6	78	69	67,7	69,4	70,7	68,4	26,4	27,2	25,2	23,5	28,3	26,5	1,9	1,95	1,81	69	17,7	23,4	51	24	27,576	0,0774												
500	87,9	91,8	90,8	83,7	78,8	76,9	70	71,3	70	69	69,4	32,8	25,9	24,5	20,8	33,3	30,5	1,9	1,86	1,99	70	17,9	23,8	52	25	26,926	0,0756												
630	89,1	92,7	91,9	87	80,9	77	68,2	69,3	69,2	68,6	66,2	23,9	24,6	20,4	22,9	25,8	24	1,9	1,79	1,85	68,2	20,9	26,5	53	26	28,467	0,0799												
800	88,8	91,4	92,9	84	80,1	79,1	67,5	69,3	68,4	68,6	63,3	24,2	22,8	20,9	25,1	24,8	25,6	1,6	1,54	1,63	67,5	21,3	26,3	54	27	32,704	0,0918												
1000	85,9	88,9	89,4	82,2	78,7	76,4	66,2	67,4	67,3	65,7	64,1	23,9	22,3	22,6	25,2	24,2	24,6	1,6	1,62	1,54	66,2	19,7	24,7	56	28	32,766	0,0926												
1250	82,5	86,1	85,8	77,9	73,3	73,8	61,1	61,6	61,7	61,4	59,1	22,5	19,8	22,2	25,1	22	21,9	1,7	1,66	1,59	61,1	21,5	26,6	56	29	31,852	0,0894												
1600	83,5	87	86,9	78,6	75,5	73,7	62,1	64	63,2	61,9	59,6	23,6	19,9	19,9	25	24,9	25	1,8	1,72	1,72	62,1	21,4	26,8	56	29	30,134	0,0846												
2000	86,5	88,1	91	81,3	77,7	76,3	64,2	65,6	65,6	63,3	62,1	21	16	18,8	22	22,3	22,6	1,7	1,68	1,69	64,2	22,2	27,4	56	29	30,768	0,0863												
2500	85,5	86,3	90,8	78,5	75,7	74,5	65,4	67,3	65,7	65,5	62,9	15,7	11,7	13,5	15,5	17,1	18	1,6	1,53	1,64	65,4	20,1	25,2	56	29	32,652	0,0915												
3150	82,3	82,6	87,8	76,5	71	70,7	65	66,8	65,5	61,8	63,6	14,6	11,5	16,7	12,3	14,8	15,5	1,5	1,47	1,48	65	17,4	22	56	29	35,472	0,0995												

DnT,w=25dB

αm=0,085

f (Hz)	TOMA DE DATOS Y VALORES OBTENIDOS A RUIDO AÉREO PARA LA PARTICIÓN B (PATIO DE LUCES-AULA 1)															A Sabine 0,162·V/72	α coeficiente absorción										
	Nivel de presión sonora patio de luces					Nivel de presión sonora Aula 1					Tiempo de reverberación							Referencia UNE 717-1	Referencia ajustada								
	L1 promedio	Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.4	Pos.5	L2 promedio	Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.4	Pos.5	T2 (T30) promedio	Mediciones Pos.1	Mediciones Pos.2												
100	81,9	82,7	82,6	83,1	82,2	75,8	52,2	50,7	51,6	55,1	51,1	50,8	35,4	35,7	33,7	33,4	36,6	36,4	2,60	3,42	1,78	52,2	29,7	33	16	19,953	0,0560
125	85,5	85,1	84,4	84,4	89,5	73,2	56,9	56,0	59,6	56,3	52,0	57,4	31,7	32,0	33,4	30,4	30,3	31,4	2,30	2,62	1,97	56,9	28,6	36	19	22,614	0,0635
160	85,5	88,9	86,1	85,2	82,1	80,1	56,7	57,4	55,9	57,7	56,1	55,8	35,0	31,8	34,7	33,3	38,4	33,5	2,30	2,93	1,63	56,7	28,9	39	22	22,747	0,0638
200	84,8	88,9	83,0	82,3	85,0	77,5	61,2	63,0	59,9	60,7	62,4	58,1	34,5	31,3	39,0	30,8	32,5	32,6	2,40	3,15	1,65	61,2	23,7	42	25	21,63	0,0607
250	84,6	88,6	83,2	79,8	82,4	83,6	60,2	59,0	61,3	61,3	60,3	57,9	32,2	31,0	33,2	29,1	33,6	32,5	1,70	1,60	1,69	60,2	24,4	28	28	31,523	0,0885
315	85,8	80,3	85,7	80,6	83,3	80,7	60,0	58,9	60,7	61,4	59,5	58,9	29,0	30,7	31,1	28,0	27,1	28,0	1,70	1,71	1,66	60,0	25,8	48	31	30,74	0,0863
400	82,3	83,8	84,0	80,4	80,3	81,6	58,9	57,9	59,7	60,6	58,2	57,0	25,4	27,2	25,2	23,5	28,3	26,5	1,90	1,95	1,81	58,9	23,4	51	34	27,576	0,0774
500	86,7	91,0	86,2	85,1	82,2	82,6	58,1	57,4	57,5	58,6	57,9	59,0	32,8	25,9	24,5	20,8	38,2	33,3	1,90	1,86	1,99	58,1	28,6	52	35	26,926	0,0756
630	86,4	88,8	87,4	85,7	83,7	84,3	56,9	56,3	55,9	57,4	56,6	55,7	23,9	24,6	20,4	22,9	25,8	24,0	1,90	1,79	1,85	56,9	29,5	53	36	28,467	0,0799
800	85,5	87,0	85,7	84,2	84,8	85,2	56,4	56,2	56,3	55,9	57,3	55,9	24,2	22,8	20,9	25,1	24,8	25,6	1,60	1,54	1,63	56,4	29,1	54	37	32,704	0,0918
1000	81,9	84,3	81,4	80,4	82,0	80,1	54,7	55,8	53,4	55,6	53,4	54,7	23,9	22,3	22,6	25,2	24,2	24,6	1,60	1,62	1,54	54,7	27,2	55	38	32,766	0,0932
1250	79,9	83,8	78,7	78,2	78,1	76,7	51,5	51,2	51,0	52,2	51,7	51,2	23,5	19,6	22,2	25,1	22,0	21,9	1,70	1,66	1,59	51,5	28,4	56	39	31,852	0,0894
1600	77,7	81,2	77,0	77,1	70,8	77,2	52,4	52,8	53,0	53,1	50,2	52,5	23,6	19,9	19,9	25,0	24,9	25,0	1,80	1,72	1,72	52,4	25,3	56	39	30,134	0,0846
2000	81,9	84,5	83,6	79,1	79,2	79,6	50,3	49,9	50,6	51,1	49,0	50,7	21,0	16,0	18,8	22,0	22,3	22,6	1,70	1,68	1,69	50,3	31,5	56	39	30,768	0,0853
2500	81,8	85,7	82,4	78,3	77,9	79,5	47,0	47,3	47,6	47,0	46,1	46,6	15,7	11,7	13,5	15,5	17,1	18,0	1,60	1,53	1,64	47,0	34,9	56	39	32,652	0,0915
3150	78,1	82,7	72,7	76,6	75,8	75,1	45,1	44,7	45,6	45,9	44,6	44,4	14,6	11,5	16,7	12,3	14,8	15,5	1,50	1,47	1,48	45,1	33,0	56	39	35,472	0,0995

DnT,w=35dB

am=0,085

TOMA DE DATOS Y VALORES OBTENIDOS A RUIDO AÉREO PARA LA PARTICION C (FACHADA 1 -AULA 1)

f (Hz)	Nivel de presión sonora fachada 1					Nivel de presión sonora Aula 1					Tiempo de reverberación					Dm L1,2m-L2corr	Dm+T Dm+10lg(T/0,05)	Referencia UNE 717-1	Referencia ajustada	A Sabine 0,162*V/72	α coeficiente absorción							
	L1,2m		Mediciones			L2		Mediciones			B2		Mediciones									L2 corregido						
	promedio	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	promedio	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	T2 (T30) promedio	Pos 1	Pos 2								Pos 3					
100	73,8	70,8	71,8	75,9	74,0	74,6	50,4	49,1	53,2	48,4	47,8	51,1	35,4	35,7	33,7	33,4	36,6	36,4	2,60	3,42	1,78	50,4	23,4	30,6	33	17	19,953	0,0560
125	76,0	73,9	75,3	75,9	72,4	79,2	56,5	51,9	56,2	52,5	50,4	61,4	31,7	32,0	33,4	30,4	30,3	31,4	2,30	2,62	1,97	56,5	19,5	26,1	36	20	22,614	0,0635
160	76,1	74,0	74,1	74,0	76,2	79,3	55,0	54,3	54,0	53,0	53,6	58,1	35,0	31,8	34,7	33,3	38,4	33,5	2,30	2,93	1,63	55,0	21,0	27,6	39	23	22,747	0,0638
200	76,0	73,4	75,4	80,3	71,3	73,3	58,4	59,6	57,2	57,9	57,6	59,0	34,5	31,3	39,0	30,8	32,5	32,6	2,40	3,15	1,65	58,4	17,6	24,5	42	26	21,63	0,0607
250	75,6	72,2	69,8	72,9	75,1	80,2	57,2	56,8	54,9	57,5	58,8	57,0	32,2	31,0	33,2	29,1	33,6	32,5	1,70	1,60	1,69	57,2	18,5	23,6	45	29	31,523	0,0885
315	77,4	68,4	71,4	73,9	79,5	81,4	50,6	47,9	47,9	48,7	49,8	54,4	29,0	30,7	31,1	26,0	27,1	28,0	1,70	1,71	1,66	50,6	26,8	32,1	48	32	30,74	0,0863
400	73,3	69,4	72,9	72,3	72,6	76,3	48,6	48,6	48,4	48,1	47,2	50,3	26,4	27,2	25,2	23,5	28,3	26,5	1,90	1,95	1,81	48,6	24,6	30,4	51	35	27,576	0,0774
500	76,8	71,1	71,4	75,4	80,6	78,1	48,4	45,5	47,2	48,0	47,3	51,4	32,8	25,9	24,5	20,8	38,2	33,3	1,90	1,86	1,99	48,4	28,5	34,3	52	36	26,926	0,0756
630	79,3	68,9	66,8	80,0	82,9	80,7	50,0	47,8	47,9	49,2	48,7	53,4	24,2	22,8	20,9	25,1	24,8	25,6	1,60	1,54	1,63	51,3	30,6	35,6	54	38	32,704	0,0918
800	82,0	68,8	73,6	81,0	84,4	85,5	51,3	49,5	49,0	50,6	50,9	54,4	24,2	22,3	20,9	25,1	24,8	25,6	1,60	1,62	1,54	50,8	30,0	35,0	55	39	32,766	0,0920
1000	80,8	71,2	75,4	81,2	83,2	83,3	50,8	49,1	48,1	51,2	51,1	53,0	23,9	22,3	22,6	25,2	24,2	24,6	1,60	1,66	1,59	52,9	26,0	31,2	56	40	31,852	0,0894
1250	78,9	64,5	69,4	78,8	81,4	82,1	52,9	50,5	51,0	51,2	51,4	56,6	22,9	19,6	22,2	25,1	22,0	21,9	1,70	1,66	1,59	52,9	26,0	31,2	56	40	30,134	0,0846
1600	81,9	69,6	71,6	83,7	84,1	84,2	49,3	47,4	47,2	48,9	49,5	51,8	23,6	19,9	19,9	25,0	24,9	25,0	1,80	1,72	1,72	49,3	32,8	38,0	56	40	30,768	0,0863
2000	84,4	68,5	72,6	83,1	87,8	87,4	49,6	48,8	48,1	49,2	50,0	51,2	21,0	16,0	18,8	22,0	22,3	22,6	1,70	1,68	1,69	49,6	34,8	40,1	56	40	32,652	0,0916
2500	84,8	69,1	71,5	81,1	87,7	88,9	48,5	45,6	45,7	47,5	47,9	52,4	15,7	11,7	13,5	15,5	17,1	18,0	1,60	1,53	1,64	48,6	36,2	41,2	56	40	35,472	0,0995
3150	81,9	66,3	66,5	80,8	85,1	85,1	45,9	43,0	43,1	45,8	45,6	49,1	14,6	11,5	16,7	12,3	14,8	15,5	1,50	1,47	1,48	45,9	36,0	40,5	56	40	35,472	0,0995

Dn1,w=36dB

αm=0,085

f (Hz)	Nivel de presión sonora fachada 2										Nivel de presión sonora Aula 1										Nivel de ruido de fondo Aula 1										T2 (T30) promedio	Tiempo de reverberación		Dm L1,2m-L2corr	Dm+T Dm+10lg(T2/0,5)	Referencia UNE 717-1	Referencia ajustada	A Sabine 0,162*V/72	α coeficiente absorción
	Mediciones					Mediciones					Mediciones					Mediciones					Mediciones																		
	Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.4	Pos.5	Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.4	Pos.5	Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.4	Pos.5	Pos.1	Pos.2	L2 corregido	L2	Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.4	Pos.5	Pos.1	Pos.2													
100	75,2	75,5	77,2	73,4	75,9	72,7	46,1	42,9	46,6	47,2	45,8	46,9	35,4	35,7	33,7	33,4	36,6	36,4	2,60	3,42	1,78	29,5	36,7	33	33	15	19,953	0,0560											
125	77,1	76,4	76,7	76,5	78,9	76,2	50,3	47,4	48,3	49,4	49,1	53,8	31,7	32,0	33,4	30,4	30,3	31,4	2,30	2,62	1,97	26,8	33,4	36	36	18	22,614	0,0635											
160	78,8	75,0	76,9	80,0	79,8	76,9	55,4	50,3	49,4	55,3	52,4	60,1	35,0	31,8	34,7	33,3	38,4	33,5	2,30	2,93	1,63	23,4	30,0	39	39	21	22,747	0,0638											
200	75,9	73,7	72,9	78,0	75,4	77,4	57,9	56,1	54,6	57,2	58,0	60,8	34,5	31,3	39,0	30,8	32,5	32,6	2,40	3,15	1,65	18,1	24,9	42	42	24	21,63	0,0607											
250	75,0	66,9	73,8	74,2	76,9	77,3	53,0	49,6	49,8	51,9	50,5	57,4	32,2	31,0	33,2	29,1	33,6	32,5	1,70	1,60	1,69	22,0	27,1	45	45	27	31,523	0,0885											
315	77,0	74,2	74,8	75,7	78,7	79,3	48,1	45,0	48,6	47,8	49,0	48,9	29,0	30,7	31,1	26,0	27,1	28,0	1,70	1,71	1,66	29,0	34,2	48	48	30	30,74	0,0863											
400	75,6	73,9	76,5	74,3	77,5	74,9	48,1	48,8	45,4	49,0	48,7	47,7	26,4	27,2	25,2	23,5	28,3	26,5	1,90	1,95	1,81	27,5	33,3	51	51	33	27,576	0,0774											
500	79,7	79,6	81,9	76,0	76,8	81,4	51,9	49,9	51,0	53,7	52,0	51,9	32,8	25,9	24,5	20,8	38,2	33,3	1,90	1,86	1,99	27,9	33,7	52	52	34	26,926	0,0756											
630	82,1	84,1	83,3	77,7	79,9	82,7	51,6	48,7	49,1	52,3	50,5	54,6	23,9	24,6	20,4	22,9	25,8	24,0	1,90	1,79	1,85	30,5	36,1	53	53	35	28,467	0,0799											
800	84,5	84,3	87,2	83,1	82,9	83,6	50,2	49,1	49,5	50,2	50,3	51,5	24,2	22,8	20,9	25,1	24,8	25,6	1,60	1,54	1,63	34,3	39,4	54	54	36	32,704	0,0918											
1000	82,5	76,2	76,6	83,6	81,2	85,9	50,9	50,3	49,6	51,0	51,8	51,4	23,9	22,3	22,6	25,2	24,2	24,6	1,60	1,62	1,54	31,6	36,6	55	55	37	32,766	0,0920											
1250	79,8	74,9	80,4	81,8	78,1	80,8	49,3	47,5	46,7	49,9	50,1	50,8	22,5	19,6	22,2	25,1	22,0	21,9	1,70	1,66	1,59	30,5	35,7	56	56	38	31,852	0,0884											
1600	82,9	76,7	83,2	77,9	84,7	85,7	56,3	55,4	55,0	56,1	56,4	57,9	23,6	19,9	19,9	25,0	24,9	25,0	1,80	1,72	1,72	27,6	32,0	56	56	38	30,134	0,0846											
2000	86,3	83,1	87,5	87,0	83,9	87,9	58,7	57,7	58,4	56,6	58,6	59,8	21,0	16,0	18,8	22,0	22,3	22,6	1,70	1,68	1,69	27,6	32,9	56	56	38	30,768	0,0863											
2500	85,1	74,3	79,2	89,5	86,3	82,7	56,1	54,9	54,0	56,6	57,6	56,4	15,7	11,7	13,5	15,5	17,1	18,0	1,60	1,53	1,64	29,0	34,0	56	56	38	32,652	0,0916											
3150	76,7	72,3	76,2	77,2	79,4	75,4	50,5	48,7	48,9	51,4	51,9	50,6	14,6	11,5	16,7	12,3	14,8	15,5	1,50	1,47	1,48	26,2	30,9	56	56	38	35,472	0,0955											

DnT,w=34dB

am=0,085