
Estudio para mejorar la insonorización de las aulas

**Estudio realizado por el Departamento de Tecnologías Audiovisuales
Sección de Acústica de la Escuela Universitaria La Salle**

Con la colaboración de Asepeyo y Catalana Occidente

Febrero 2004

1. Conceptos Básicos

A la hora de evaluar la acústica de una aula destinada a la enseñanza, hay dos parámetros principales que determinarán su calidad: el **tiempo de reverberación** y la **inteligibilidad**.

1.1. El **tiempo de reverberación** (TR) es el tiempo que tarda un sonido en “dejar de ser perceptible” para el oyente. Es decir, si una aula tiene un tiempo de *reverberación alto*, cuando se esté produciendo un sonido y la fuente que lo genera cese, nosotros lo oiremos atenuarse durante un *tiempo alto*. Si por el contrario el aula tiene un tiempo de reverberación bajo, el sonido se atenuará rápidamente una vez finalice esta fuente.

➤ ¿De qué depende el tiempo de reverberación?

El tiempo de reverberación depende fundamentalmente de dos parámetros: el **volumen** de la sala y **la absorción acústica** de los materiales que la forman

$$TR = 0.16 \cdot \text{Volumen} / (\text{Absorción} \cdot \text{Area absorbente})$$

Salas con mayor volumen tendrán un TR más elevado, mientras que una mayor absorción reducirá el TR.



*El tiempo de reverberación recomendado para las aulas escolares se encuentra comprendido entre **0.4 y 0.6 segundos**.*

1.2. La inteligibilidad nos indica cómo afecta la sala a las palabras emitidas por un orador dentro de ella. Existen diversos métodos para evaluarla, uno de los más utilizados es el método RASTI; que proporcionándonos un número comprendido entre 0 y 1, nos indicará la inteligibilidad del aula. Clasificamos los diferentes valores en:

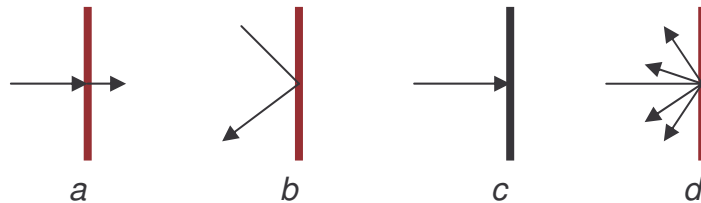
Inteligibilidad	Indice RASTI
<i>Muy Pobre</i>	0 a 0.3
<i>Pobre</i>	0.3 a 0.45
<i>Aceptable</i>	0.45 a 0.60
<i>Buena</i>	0.60 a 0.75
<i>Excelente</i>	0.75 a 1



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

Otros conceptos básicos:

- **Ruido de fondo:** el ruido de fondo en una sala es aquel que percibimos incluso cuando en ésta no se produce ninguna actividad. Proviene de espacios colindantes así como del exterior del edificio (calle, patio, etc...)
- **Absorbente acústico (o “material absorbente”):** es aquel material que por sus propiedades físicas (porosidad, etc,) atenúa la energía sonora que en él incide. Así, por ejemplo, una pared recubierta de material absorbente atenuará más el sonido que una pared “desnuda”.
- **Aislamiento acústico:** reducción del nivel sonoro que presenta un componente arquitectónico (pared, ventana, puerta, ...). Una pared que presente un buen aislamiento, logrará que se transmita mucha menos energía sonora de un lado al otro de la misma. Si, por el contrario, presenta un aislamiento pobre, la actividad sonora producida a un lado de la pared será perceptible, y por tanto resultará molesta, en la dependencia contigua.
- **Acciones del sonido al incidir sobre una superficie**



- a) **Transmisión:** una parte de la energía del sonido incidente pasa al otro lado de la superficie (una pared, per ejemplo). La cantidad de sonido que llega al otro lado dependerá del aislamiento de la pared.
- b) **Reflexión:** el sonido incidente cambia su dirección al incidir sobre la superficie.
- c) **Absorción:** la superficie absorbe la energía del sonido.
- d) **Difusión:** el sonido se ve reflejado en múltiples direcciones.

- ***Atenuación del sonido:*** la atenuación del sonido hace referencia a la disminución del nivel que éste soporta al propagarse por el medio (en nuestro caso el aire). Esta atenuación depende de la cantidad de energía que absorba el medio y de la distancia que separe emisor de receptor.

Un medio más absorbente producirá una mayor atenuación de la energía sonora.

Una distancia elevada entre emisor y receptor hará que el sonido se atenúe más, ya que el aire contribuye con su propia absorción. Por tanto, una mayor atenuación hará que el sonido llegue al receptor con menor intensidad (lo percibimos más débil), mientras que si hay poca atenuación, el sonido llegará con una intensidad parecida a la que tenía cuando ha sido generado.

2. Criterios Básicos de Diseño

A continuación explicaremos qué requisitos debería cumplir una aula escolar para presentar unas cualidades acústicas adecuadas:

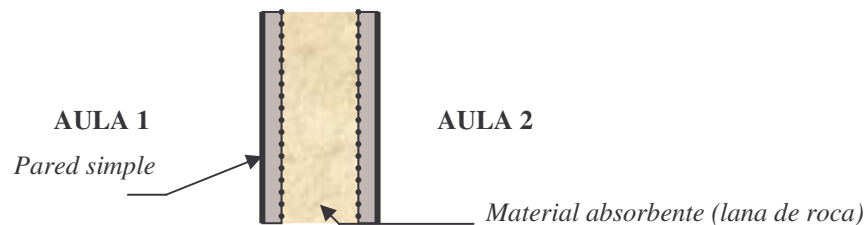
2.1. Aislamiento

Podemos localizar tres tipos de aislamiento:

- **Aislamiento entre aulas**

Es necesario que cada aula se encuentre aislada acústicamente de las contiguas. El ruido proveniente de otras aulas puede reducir la concentración del alumnado y dificultar el aprendizaje, sobretodo en la realización de lecturas silenciosas o exámenes. Por dicho motivo las paredes que separan las aulas colindantes deben aislar acústicamente las dos salas.

Cuanta más masa tenga una pared mejor aislamiento presenta, pero, a menudo, una implementación así puede no ser posible debido a motivos de espacio o económicos. Una buena solución es construir una pared doble [fig. 1], con una cámara de aire en medio, que se pueda rellenar, al mismo tiempo, de un material absorbente (por ejemplo: lana de vidrio, lana de roca) y así, reforzar el aislamiento.



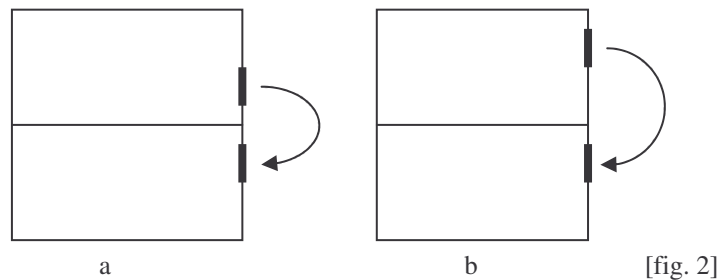
[fig. 1]

Es poco recomendable el uso de puertas interiores que comuniquen dos clases, ya que, como hemos dicho anteriormente, cualquier posible camino directo para el sonido (ranuras etc.) anularía por completo el buen aislamiento de una pared.

- **Aislamiento entre otras estancias**

Hay que tener presente el aislamiento entre el aula y otras estancias; el pasillo, por ejemplo. En este caso la puerta juega un papel muy importante, ya que, un mal cierre o cualquier ranura por pequeña que sea puede reducir notablemente, o incluso anular su buen aislamiento y el de la pared donde esta se encuentra situada.

La situación de la puerta con relación a las aulas contiguas es otro aspecto a tener en cuenta, ya que consiste en establecer siempre el camino más largo para el sonido [fig. 2].



*En el caso **a** el camino que debe recorrer el sonido es más corto y por tanto se atenuará menos.*

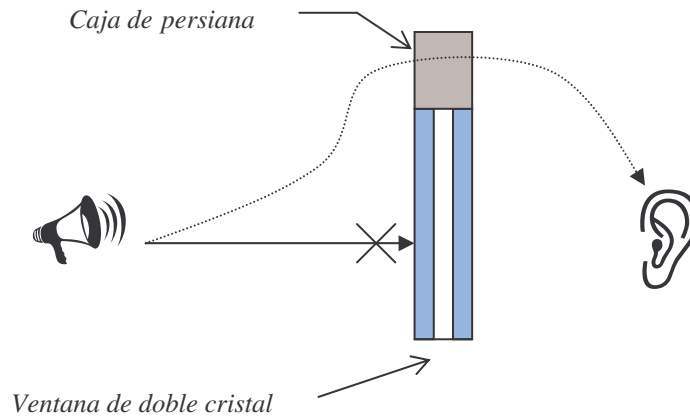
*En el caso **b** hemos aumentado la distancia que tiene que recorrer el sonido y, por tanto,, llegará, más atenuado de una aula a la otra.*

- ***Aislamiento del exterior***

Por último, debemos considerar el aislamiento que presenta la fachada, tanto si ésta separa el aula de la calle o de un patio interior. Tanto en la calle como en los patios es donde se generará la actividad ruidosa más importante de entre las que afectarán al aula, por ello, tenemos que reforzar especialmente el aislamiento en dicho punto.

Las ventanas de doble cristal ofrecen una mejora considerable en el aislamiento acústico, al mismo tiempo aumentan el aislamiento térmico, reduciendo el gasto energético de los sistemas de calefacción, etc.

Todos los elementos que configuran la fachada (ventanas, paredes, cajas de persianas, etc.) tienen que estar perfectamente sellados, es decir, no debe existir ninguna ranura entre sus uniones. Un ejemplo claro son las citadas cajas de persianas; si éstas no están bien aisladas, el sonido que entre a través de ellas puede dejar sin efecto otras medidas de buen aislamiento, como el doble cristal en las ventanas. (fig.3)



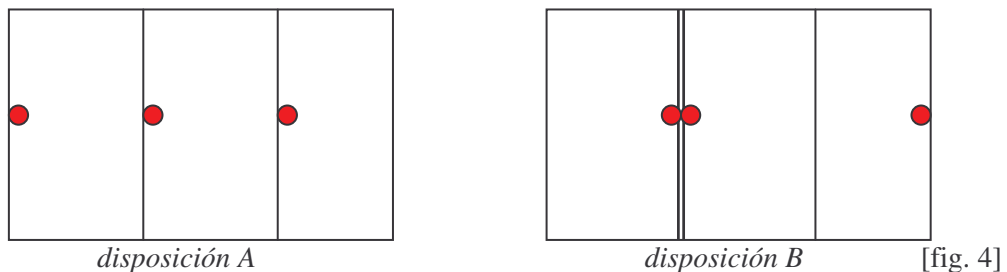
[fig. 3]

El poco aislamiento de la caja de persianas anula el buen aislamiento de la ventana.

Todos estos puntos permiten obtener un buen aislamiento, tanto para dependencias del mismo edificio como para el ruido proveniente del exterior. Este aislamiento comportará una reducción del ruido de fondo, punto que hará ***aumentar la inteligibilidad.***

Disposición relativa entre aulas adyacentes

De la misma manera que hemos visto cómo colocar las puertas en aulas cercanas para reducir el sonido transmitido de una dependencia a la otra, también haremos un breve apunte sobre la colocación de los profesores en aulas con pared común. Este aspecto tiene como finalidad conseguir que las explicaciones del profesor del aula vecina no interfieran en la explicación del profesor de la propia aula. Esta situación se producirá en aquellas filas más próximas a la pared que separa una de la otra.



En la figura 4 podemos observar dos disposiciones diferentes de profesores entre aulas contiguas. En el caso A, las tres paredes deberían presentar un buen aislamiento, con el fin de que la voz del profesor/a no llegara a las últimas filas

del aula vecina. Por el contrario, en el caso *B*, sólo tendríamos que reforzar el aislamiento en las paredes compartidas por los profesores, ya que el sonido que proviene del aula vecina no llegaría, apenas, a las últimas filas. Por tanto, acústicamente hablando, una disposición del tipo *B* es más adecuada que la del tipo *A*, ya que conseguiremos una mayor reducción de la interferencia de las aulas vecinas con sólo un aislamiento reforzado en puntos concretos (las paredes compartidas por profesores).

2.2. Acondicionamiento Acústico (Tiempo de Reverberación e Inteligibilidad)

El tiempo de reverberación [TR] es uno de los parámetros que más nos interesa ajustar con el fin de obtener una buena acústica en el aula. Como ya hemos visto, el TR tiene que estar comprendido, en el caso de aulas escolares, entre 0.4 y 0.6 segundos. Este intervalo estará determinado por la cantidad de reverberación que nos favorecerá en aspectos de inteligibilidad.

En una aula de dimensiones convencionales ($7m \times 8m \times 3m$), el TR que obtenemos será mucho más elevado si el suelo es de baldosa, las paredes de yeso pintadas y el techo de hormigón. Por este motivo tenemos que tener presente cuales son los materiales más adecuados y cómo tenemos que distribuirlos.

2.2.1. Techo

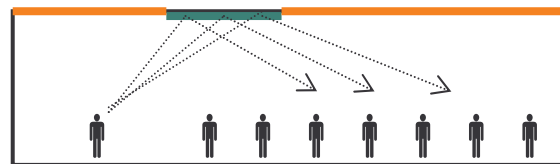
El techo, representa una superficie muy amplia, por lo que, en caso de estar hecho de un material poco absorbente al sonido, como el hormigón, hará que el tiempo de reverberación sea elevado: Para disminuirlo, deberemos recubrirlo. Existen paneles diseñados para ser montados en los techos; estos quedan suspendidos mediante una guía a cierta distancia del mismo. Esta cavidad se puede rellenar con material absorbente, reduciendo, así, el TR y ajustándolo a los márgenes deseados.

Hay que tener presente que la colocación del falso techo implica también una reducción del volumen, y, por tanto, comportara también una reducción del tiempo de reverberación (recordemos que el TR dependía tanto de la absorción del aula como de su volumen, ver punto 1.1).



Ejemplo de techo acústico en forma de paneles absorbentes. Se puede observar la cavidad existente entre el techo real y el falso. (fig.5)

Hay un aspecto de diseño que ayuda a *mejorar la inteligibilidad*, para las últimas filas; consiste en hacer que el centro del techo no sea absorbente si no reflectante, consiguiendo así, que la voz del profesor llegue con mayor nivel.[fig. 6]



— Material absorbente
— Material reflectante

[fig. 6]

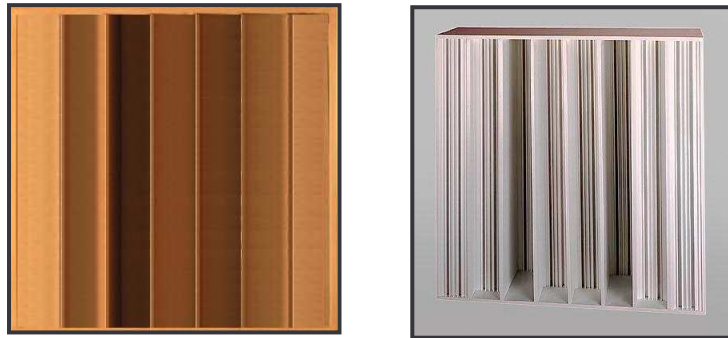
2.2.2. Paredes

Como el techo, las paredes representan un porcentaje muy elevado de la superficie de una aula, por ello contribuyen, de manera relevante, al tiempo de reverberación final. Si construimos unas paredes con materiales que reflejen el sonido (baldosas, cristales, etc.) elevaremos el tiempo de reverberación. Por otro lado, tampoco podemos recubrirlas con un material absorbente, ya que, en muchos casos, no sería práctico; ciertos de dichos materiales se ensucian con mayor facilidad y tienen poca resistencia mecánica. Por este motivo, no se acostumbra a tratar acústicamente las paredes con el objetivo de reducir el tiempo de reverberación, si no que concentraremos casi toda la absorción necesaria en el techo, siendo suficiente para llegar al TR deseado (entre 0.4 y 0.6 segundos).

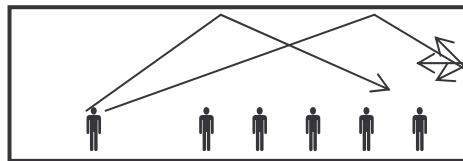
- A menudo existen ventanas que comunican el aula con el pasillo, o con aulas vecinas. En algunos casos, estas ventanas no aportan ningún tipo de iluminación útil al aula, si no que sólo constituyen una superficie

reflectante que elevará indeseablemente el TR del aula. Por ello, es aconsejable evitar el uso de cualquier superficie de cristal que no se aproveche como fuente de iluminación.

- En la mayoría de aulas escolares, las perchas se encuentran situadas a lo largo de toda una pared. Cabe tener en cuenta que, cuando están ocupadas por chaquetas o abrigos estos actúan como material absorbente para toda la parte inferior de la misma. Por este motivo la acústica de nuestra aula puede variar ligeramente entre los meses de verano, donde las perchas están vacías, y los meses de invierno, debido a que la presencia de abrigos en los colgadores aumentará la absorción del aula.
- Otro rasgo particular de las aulas escolares es que una de las paredes de la sala está ocupada por la pizarra. La pizarra, de material bastante reflectante, ayudará a reflejar la voz del profesor/a, reforzándola en la dirección del alumnado.
- Para aumentar la inteligibilidad, en algunos casos, podemos dar un tratamiento acústico especial a la pared posterior del aula. A esta pared llega energía que proviene del profesor, si le colocamos material absorbente, esta energía quedará atenuada, y, por tanto, desaprovechada. Por otro lado, una pared lisa, puede hacer que el sonido llegue a las últimas filas con un cierto retraso (debido a la reflexión), reduciéndoles la inteligibilidad. La solución consiste en hacer que esta pared devuelva la energía sonora que le llega, pero no reflejándola de manera directa, sino creando un *campo difuso*. Esto se conseguirá con un **elemento difusor** [fig. 7]. Los difusores se encargan de reflejar la energía que les llega pero de manera aleatoria, es decir, creando un campo difuso de energía, reforzándola en las últimas filas [fig. 7]. Este aumento de energía aumentará la inteligibilidad.



Elementos difusores [fig. 7]



Ejemplo de aplicación de un difusor [fig. 8]

👍 A pesar de que existen elementos difusores diseñados específicamente (figura 7), cualquier elemento que rompa la uniformidad de la pared posterior (estantes, muebles, etc.) debido a las dimensiones habituales de una aula primaria, causará un efecto similar, y nos ayudará de la misma manera a mejorar la inteligibilidad en esta zona.

3. Mejoras de la acústica en aulas existentes

Muchos de los aspectos anteriormente comentados no fueron tenidos en cuenta en el momento de la construcción de aulas ya existentes, apareciendo, pues, deficiencias en su calidad acústica. A continuación se exponen algunas soluciones que ayudarán a mejorar esta acústica.

3.1. Mejorar el aislamiento

El aislamiento es, en la mayoría de los casos, el punto débil en las aulas escolares. Conseguir que el ambiente ruidoso de patios, calle y pasillos no interfiera en la actividad docente dentro del aula, será, como hemos dicho, el objetivo principal. Debemos medir el sonido de fondo del aula para determinar si es necesario reforzar el aislamiento existente.

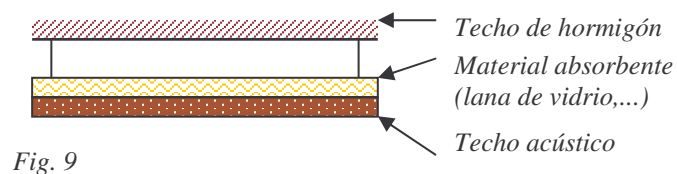
Debido a que en pocos casos podremos modificar las paredes, nos centraremos en evitar la existencia de aberturas y otros caminos secundarios para el sonido, que anulen el aislamiento existente. Tendremos que vigilar, especialmente::

- **Buen cierre de las puertas.** Evitar que queden rendijas una vez la puerta esté cerrada. Un buen ajuste con el suelo y con el marco mejorará significativamente el aislamiento acústico de la puerta..
- **Buen cierre de ventanas.** Igual que en el caso anterior hay que asegurarse que una vez cerrada la ventana no quede ninguna abertura. Se recomienda *doble cristal* con el fin de reforzar el aislamiento para el ruido de la calle/patio
- **Aislamiento de las cajas de persianas.** Habrá que tratarlas acústicamente, añadiéndoles un material absorbente y asegurándose que las uniones con la ventana y fachada sean buenas, con el fin de evitar que anulen un buen aislamiento general de la pared.

Muchas veces se realizan movimientos de mesas y sillas, como por ejemplo al finalizar la clase, etc. Estos movimientos hacen que al ser arrastradas, generen al denominado **ruido de impacto** . Este ruido, además de resultar molesto donde se genera, viaja principalmente hacia el piso inferior. Una solución muy eficaz para reducir el ruido de impacto consiste en colocar punteras de caucho o goma en sus patas, consiguiendo, así, reducir el ruido producido, tanto en la misma aula, como el que se transmitiría hacia el piso inferior.

3.2. Tratamiento acústico del aula

En primer lugar, tenemos que determinar cual es el tiempo de reverberación de nuestra aula mediante una medida *in situ*. En el caso de que éste sea superior a los márgenes deseados tendremos que reducirlo, para ello añadiremos absorción. Con un tratamiento acústico adecuado en el techo, podemos ajustar considerablemente el tiempo de reverberación. La solución más eficaz será la instalación de un falso techo mediante paneles que se montan sobre unas guías suspendidas en el techo, y cuya cavidad (o *plénium*) se puede también rellenar de material absorbente. [fig. 9]



Tal y como hemos visto, el tiempo de reverberación depende tanto del volumen de la sala como de la cantidad de absorción que presenta (ver 1. *Principios Básicos*). Así pues, el falso techo no solo reducirá el TR debido a que aporta más absorción al aula, sino que también *implica una reducción del volumen* de esta (el nuevo techo absorbente estará más bajo que el techo original del aula).

Existen diferentes disposiciones de techo absorbente, en función de:

- *Material del que estén hechos los paneles absorbentes*
- *Distancia a la que se coloquen del techo original*
- *Material absorbente con el que se rellene la cavidad*

4. Puntos guía

Como resumen de los diferentes criterios de diseño expuestos para obtener la calidad acústica que requiere un aula escolar, podemos decir que:

4.1 Para aulas de nueva construcción:

- a) *Estudio acústico previo a la construcción final*
- b) *Buen aislamiento entre aulas colindantes y pasillos:*
 - *Doble pared entre aulas*
 - *Buen aislamiento en puertas. Evitar puertas entre aulas.*
 - *Disposición adecuada de puertas y profesores entre aulas cercanas.*
- c) *Buen aislamiento de fachada para con el ruido exterior del edificio*
 - *Ventanas con doble cristal*
 - *Cajas de persiana con aislamiento adecuado*
- d) *Techo absorbente para garantizar un tiempo de reverberación adecuado.*
- e) *Evitar el uso de materiales reflectantes (cristal, baldosa etc.) en las paredes.*

4.2. Para mejorar aulas existentes:

- a) *Reforzar el aislamiento*
 - *Reforzar el aislamiento de los elementos de la fachada; ventanas con doble cristal, aislamiento de cajas de persianas, ...*
 - *Asegurar un buen cierre de puertas*
- b) *Acondicionamiento acústico para ajustar el tiempo de reverberación*
 - *Instalación de un falso techo absorbente para reducir el TR.*
- c) *Instalación de punteras de caucho en las patas de mesas y sillas para reducir el sonido de impacto.*



Todos los puntos anteriores forman un conjunto de recomendaciones generales. Es conveniente realizar un estudio individual para cada recinto, y así particularizar de manera adecuada los diferentes puntos guía.

5 Apéndice: Comedores escolares

En la escuela existen ciertas dependencias donde los niveles sonoros que encontramos son considerablemente elevados. Un claro ejemplo lo encontramos en los comedores escolares.

Los comedores escolares tiene una capacidad bastante superior a la de una aula y en ellos se desarrolla un tipo de actividad mucho más ruidosa. Por este motivo, si no existe un tratamiento acústico conveniente, los niveles sonoros pueden resultar excesivamente molestos.



Comedor escolar sin ningún tipo de tratamiento acústico (fig.10)

El principal parámetro que tendremos que controlar, será el tiempo de reverberación. Ya hemos comentado que por motivos prácticos no resulta viable recubrir las paredes de material absorbente con el fin de disminuirlo, pero hay que evitar que estas estén especialmente reflectantes. No serán recomendadas ventanas o paredes de cristal o pavés, por ejemplo. En algunos comedores también se da el caso de paredes embaldosadas, siendo estas indeseablemente reflectantes.

La solución más eficiente es la instalación de un **falso techo absorbente**, a pesar de que, en este caso, el material del que están formados los paneles tendrá que ser mucho más absorbente que en el caso de las aulas. Existen paneles especialmente diseñados para comedores, ya que cumplen al mismo tiempo las medidas higiénicas y sanitarias exigidas.



El tiempo de reverberación recomendado para comedores escolares se encuentra entre 0.8 i 1.2 segundos.

Una fuente de ruido importante en los comedores escolares es el ruido de impacto, producido por el arrastramiento de mesas y sillas, bandejas, platos, etc. Debido a que el movimiento de alumnos es casi continuo, este tipo de ruidos es muchos más significativo que en el caso de las aulas. Tendremos que añadir **elementos**

amortiguadores del ruido de impacto, como por ejemplo punteras de caucho o goma en las patas de mesas y sillas.

Dada la variabilidad de dimensiones y estructura de los comedores, el conjunto de recomendaciones anteriores solo resultaran efectivas si se aplican tras un estudio acústico previo, que permita particularizarlas de la manera más eficiente.