



Mallorca 303 2-2 08037 BARCELONA
e-mail: jordi.gassiot@catalanaocci.es

tel. 932077772 – 932073615 fax: 934591693

Estudi per millorar la insonorització de les aules

**Estudi realitzat pel Departament de Tecnologies
Audiovisuales Secció d'Acústica de l'Escola Universitària La
Salle**

Amb la col·laboració d'Asepeyo i Catalana Occident

1. Conceptes Bàsics.

A l'hora d'avaluar l'acústica d'una aula destinada a l'ensenyament, hi ha dos paràmetres principals segons els quals podem determinar-ne la qualitat: el **temps de reverberació** i la **intel·ligibilitat**.

1.1. El temps de reverberació (TR) és el temps que triga un so en “deixar de ser perceptible” per l'oient. És a dir, si una aula té un temps de *reverberació alt*, quan s'estigui produint un soroll i la font que el genera s'aturi, nosaltres el sentirem atenuar-se durant un *temps alt*. Si pel contrari l'aula té un temps de reverberació baix, el so s'atenuarà ràpidament després d'aturar-se la font que el genera.

➤ *De què depèn el temps de reverberació?*

El temps de reverberació depèn fonamentalment de dos paràmetres: el **volum** de la sala i l'**absorció acústica** dels materials que la formen.

$$TR = 0.16 \cdot \text{Volum} / (\text{Absorció} \cdot \text{Àrea absorbent})$$

Sales amb major volum tindran un TR més elevat, mentre que una major absorció reduirà el TR.

El temps de reverberació recomanat per a aules escolars es troba comprès entre 0.4 i 0.6 segons.

1.2. La intel·ligibilitat ens indica com afecta la sala a paraules emeses per un orador dins la mateixa. Existeixen diversos mètodes per avaluar la intel·ligibilitat, un dels més utilitzats és el mètode RASTI. El mètode RASTI ens proporciona un nombre

compres entre 0 i 1 , que ens indicarà la intel·ligibilitat de l'aula. Els diferents valors els classifiquem en:

Intel·ligibilitat	Índex RASTI
Molt Pobra	0 a 0.3
Pobra	0.3 a 0.45
Acceptable	0.45 a 0.60
Bona	0.60 a 0.75
Excel·lent	0.75 a 1

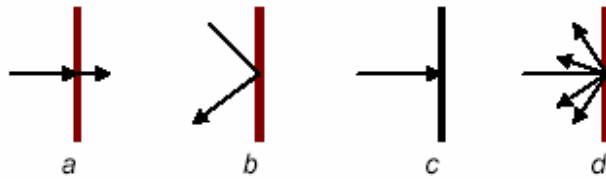
*Per a aules escolars es recomana com a mínim una intel·ligibilitat **Bona**.*

Altres conceptes bàsics:

- **Soroll de fons:** el soroll de fons d'una sala és aquell que hi trobem sense que en aquesta s'hi produeixi cap activitat. El soroll de fons prové dels espais colindants, així com de l'exterior de l'edifici (carrer, pati, etc...)
- **Absorbent acústic (o “material absorbent”):** és aquell material que per les seves propietats físiques (porositat, etc,) atenua l'energia sonora que hi incideix. Així, per exemple, una paret recoberta amb material absorbent atenuarà més el so que una paret “nua”.
- **Aïllament acústic:** reducció del nivell sonor que presenta un component arquitectònic (paret, finestra, porta,...). Si una paret presenta un bon aïllament farà

que es transmeti molt poca energia sonora d'una banda a l'altra de la mateixa. Si d'altra banda presenta un aïllament pobre, l'activitat sonora produïda a un costat de la paret serà perceptible, i per tant resultarà molesta, a la dependència contigua.

• **Accions del so en incidir sobre una superfície.**



a) **Transmissió**: una part de l'energia del so incident passa a l'altra part de la superfície (una paret, per exemple). La quantitat de so que arriba a l'altre costat dependrà de l'aïllament de la paret.

b) **Reflexió**: el so incident canvia la seva direcció a l'incidir sobre la superfície.⁷

c) **Absorció**: la superfície absorbeix l'energia del so.

d) **Difusió**: el so es veu reflectit en múltiples direccions **a b c d**

• **Atenuació del so**: l'atenuació del so fa referència a la disminució de nivell que aquest pateix al propagar-se pel medi (en el nostre cas l'aire). Aquesta atenuació depèn de la quantitat d'energia que absorbeixi el medi i de la distància que separa emissor i receptor.

Un medi més absorbent produirà una major atenuació de l'energia sonora.

Una distància elevada entre emissor i receptor farà que el so s'atenuï més, ja que l'aire contribueix amb la seva pròpia absorció

Per tant, una major atenuació farà que el so arribi al receptor amb menys intensitat (el percebrem més dèbil), mentre que si hi ha poca atenuació, el so arribarà amb una intensitat molt semblant a la que tenia quan s'ha generat.

2. Criteris Bàsics de Disseny.

A continuació explicarem quins requisits hauria de complir una aula escolar per tal de presentar unes qualitats acústiques adequades:

2.1. Aïllament.

Podem localitzar tres tipus d'aïllament:

- **Aïllament entre aules.**

Caldrà que cada aula es trobi aïllada acústicament de les aules del seu costat.

El soroll provinent d'altres aules pot reduir la concentració de l'alumnat i dificultar l'aprenentatge, sobre tot mentre es realitzen lectures silencioses o exàmens. Per aquest motiu les parets que separen aules colindants han d'aïllar acústicament les dues sales.

Com més massa té una paret millor aïllament acústic presenta, però sovint una implementació així pot no ser possible degut a motius d'espai o econòmics. Una bona solució és construir una paret doble [fig. 1], amb una cambra d'aire al mig, que pot ser omplerta al mateix temps d'un material absorbent (p.ex: llana de vidre, llana de roca) per tal de reforçar l'aïllament.



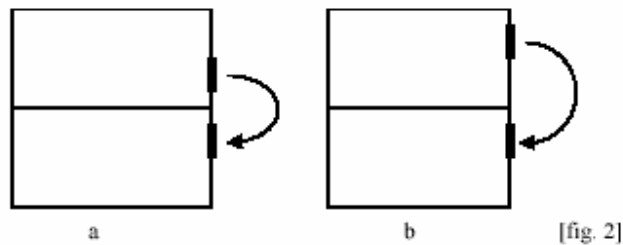
[fig 1]

És poc recomanable l'ús de portes interiors que comuniquin dues classes, ja que com hem dit abans, qualsevol possible camí directe pel so (ranures, etc) anul·laria per complet el bon aïllament d'una paret.

- **Aïllament entre altres estances.**

Cal tenir present l'aïllament entre l'aula i altres estances, com per exemple el passadís. En aquest cas la porta juga un paper molt important, ja que un mal tancament o qualsevol petita escletxa pot reduir notablement, o fins i tot anul·lar, el bon aïllament de la porta i de la paret on aquesta es troba situada.

La situació de la porta en relació amb les aules del costat és un altre aspecte a tenir en compte, ja que cal sempre establir el camí més llarg per al so [fig.2].



*En el cas a el camí que ha de recórrer el so és més curt i per tant s'atenuarà menys.
En el cas b hem augmentat la distància que ha de recórrer el so i per tant, arribarà d'una aula a l'altra més atenuat.*

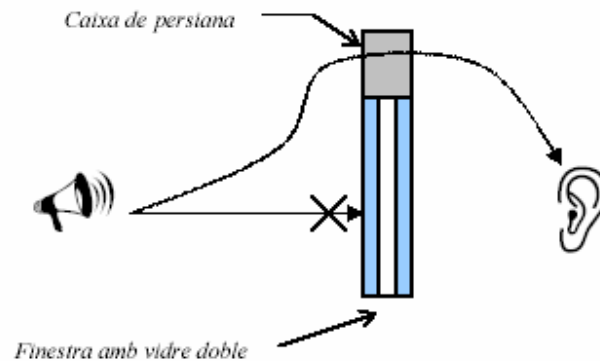
- **Aïllament de l'exterior.**

Per últim cal considerar l'aïllament que presenta la façana, tant si aquesta separa l'aula del carrer com d'un pati interior. Tant al carrer com als patis és on es generarà l'activitat sorollosa més important d'entre les que afectaran l'aula, per això cal reforçar especialment l'aïllament en aquest punt.

Les finestres amb vidre doble ofereixen una millora considerable en l'aïllament acústic, alhora que augmenta l'aïllament tèrmic, reduint la despesa energètica dels sistemes de calefacció, etc.

Tots els elements que conformen la façana (finestres, paret, caixes de persianes, etc.) s'han de trobar perfectament segellats, és a dir, no ha d'existir cap ranura entre les seves unions. Un exemple clar són les esmentades caixes de persianes, ja que si

aquestes no presenten cap tipus d'aïllament, el so que entri a través d'elles podria anul·lar per complet un bon aïllament amb vidre doble de les finestres.[fig. 3]



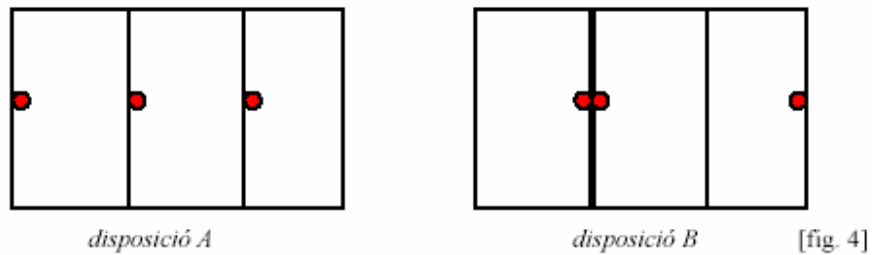
[fig. 3]

El poc aïllament de la caixa de la persiana anul·la el bon aïllament de la finestra.

Tots aquests punts permeten obtenir un bon aïllament, tant de dependències del mateix edifici com del soroll de l'exterior. Aquest aïllament comportarà una reducció del soroll de fons dins l'aula, punt que farà **augmentar la intel·ligibilitat**.

Disposició relativa entre aules adjacents

De la mateixa manera que havíem vist en el cas de la col·locació de portes en aules properes, per tal de reduir el so transmès d'una dependència a l'altra, també farem un breu apunt sobre la col·locació dels professors en aules amb una paret comú . Aquest aspecte té com a finalitat aconseguir que les explicacions del professor de l'aula veïna no interfereixin en l'explicació del professor de la pròpia aula. Aquesta situació es produirà en aquelles files properes a la paret que separa de l'aula veïna.



En la figura 4 es poden observar dues disposicions diferents dels professors entre aules contigües. En el cas A, les tres parets haurien de presentar un bon aïllament, per tal que la veu del professor/a no arribés a les darreres files de l'aula veïna. En canvi, en el cas B, només caldria reforçar l'aïllament en les parets compartides pels professors/es de les dues aules, ja que a les darreres files gairebé no arriba so provinent de l'aula veïna. Per tant, acústicament parlant, una disposició del tipus B seria més adequada que del tipus A, ja que aconseguiríem una major reducció de la interferència de les aules veïnes amb un aïllament reforçat en punts concrets (les parets compartides per professors).

2.2. Condicionament Acústic (Temps de Reverberació i Intel·ligibilitat).

El temps de reverberació [TR] és un dels paràmetres que més ens interessa ajustar per tal d'obtenir una bona acústica a l'aula. Com ja hem vist, el TR ha d'estar comprès, en el cas d'aules escolars, entre 0.4 i 0.6 segons. Aquest interval ve determinat per la quantitat de reverberació que ens afavorirà en aspectes d'intel·ligibilitat.

Per a una aula de dimensions convencionals ($7m \times 8m \times 3m$), amb un terra de rajola, parets de guix pintades i un sostre de formigó pintat el TR que obtenim és molt més elevat. Per aquest motiu cal tenir present quins tipus de materials són els adequats per a l'aula i com cal distribuir-los per tal d'aconseguir el TR òptim.

2.2.1. Sostre.

El sostre representa una superfície molt gran, i si està fet d'un material molt poc absorbent del so, com per exemple el formigó pintat, farà que el temps de

reverberació sigui elevat. Per tant, ens interessarà recobrir el sostre d'un material absorbent, fent disminuir així el temps de reverberació.

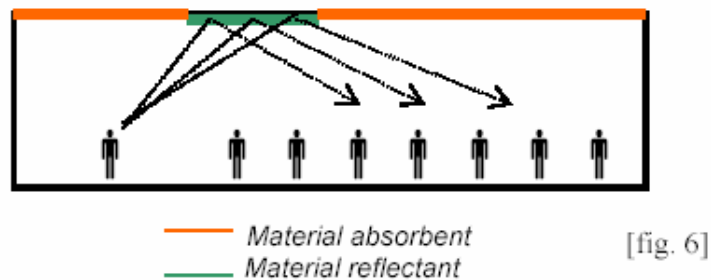
Existeixen panells de material absorbent dissenyats per ser muntats en sostres. Queden suspesos mitjançant una guia a una certa distància del sostre de formigó. La cavitat que limiten el fals sostre i l'original de formigó pot ser omplerta amb material absorbent per tal de reduir més el TR, en cas que sigui necessari, per tal d'ajustar-lo dins els marges desitjats.

Cal tenir present que la col·locació del fals sostre també implica una reducció del volum de l'aula i que, per tant, també comportarà una reducció del temps de reverberació (recordem que el TR depenia tant de l'absorció de l'aula com del seu volum, veure punt 1.1).



Exemple de sostre acústic en forma de panells absorbents. Es pot observar la cavitat existent entre el sostre real i el fals sostre. [fig. 5]

Hi ha un aspecte de disseny que ajuda a **millorar la intel·ligibilitat**, sobretot cap a les darreres files de taules de l'aula. Consisteix en fer que el centre del sostre no sigui absorbent sinó reflectant. D'aquesta manera aconseguim que la veu del professor s'hi reflecteixi, reforçant així el nivell que arriba a les darreres files. [fig. 6]



2.2.2. Parets.

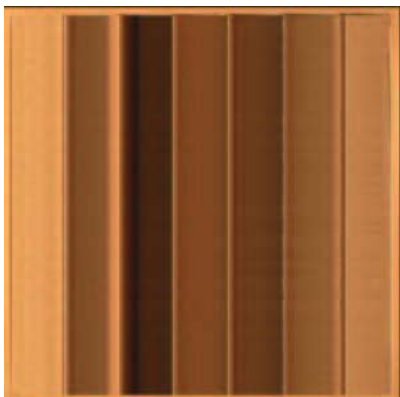
Tal i com passa amb el sostre, les parets representen un percentatge molt elevat de la superfície de l'aula, i per tant, contribuirà de manera rellevant en el temps de reverberació final. Si construïm les parets amb materials que reflecteixen el so (com rajola, vidre, etc) elevarem el temps de reverberació. D'altra banda, tampoc les podem recobrir amb un material absorbent, ja que en el cas de les parets cal tenir present l'aspecte pràctic: certs materials absorbents solen embrutar-se amb facilitat i tenir poca resistència mecànica. Per aquest motiu, no s'acostuma a tractar acústicament les parets amb l'objectiu de reduir el temps de reverberació, sinó que concentrarem quasi tota l'absorció necessària al sostre, sent suficient per assolir el TR desitjat (entre 0.4 i 0.6 segons).

- Molts cops existeixen finestres que comuniquen l'aula amb el passadís o fins i tot amb les aules veïnes. En alguns casos, aquestes finestres no aporten cap tipus d'il·luminació útil a l'aula, però sí constitueixen una superfície reflectant que elevarà indesitjablement el TR de l'aula. Per aquest motiu és aconsellable evitar l'ús de qualsevol superfície de vidre que no aprofitem com a font d'il·luminació.

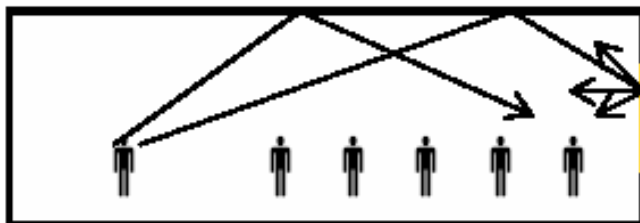
- Cal tenir en compte que en la majoria d'aules escolars, els penjadors es troben distribuïts al llarg de tota una paret, fent que quan hi ha jaquetes o abrics penjats, aquests actuïn com a material absorbent de forma força eficient per a la part inferior de la paret. Per aquest motiu l'acústica de la nostra aula pot variar lleugerament entre els mesos d'estiu, on els penjadors estaran buits, i els mesos d'hivern quan, degut a la presència d'abric als penjadors augmentarà l'absorció de l'aula.

- Un altre tret particular de les aules escolars és que una de les parets de la sala es veu ocupada per la pissarra. La pissarra és un material força reflectant, i ajudarà a reflectir la veu del professor/a, reforçant-la en la direcció de l'alumnat.

- Un aspecte de disseny en les parets que en alguns casos ajudarà a augmentar la intel·ligibilitat consisteix en donar un tractament acústic especial a la paret posterior de l'aula. A aquesta paret hi arriba energia provinent del professor, i si hi col·loquem material absorbent aquesta energia quedaria atenuada, i per tant desaprofitada. D'altra banda, una paret llisa reflectant pot fer que el so arribi a les darreres files amb un cert retard (degut a la reflexió) i alhora directament del professor, al sumar-se aquestes dues procedències reduïrem l'intel·ligibilitat a les darreres files. La solució consisteix en fer que aquesta paret retorni l'energia sonora que li arriba, però sense reflectir-la de manera directa, sinó creant un *camp difús*. Això ho aconseguim amb un **element difusor** [fig. 7]. Els difusors s'encarreguen de reflectir l'energia que els arriba però d'una manera aleatòria, és a dir, creant un camp d'energia difús, que reforçarà l'energia a les últimes files [fig. 7]. Aquest augment d'energia farà augmentar l'intel·ligibilitat.



Elements difusors [fig. 7]



Exemple d'aplicació d'un difusor [fig. 8]



Tot i que existeixen elements difusors dissenyats específicament (figura 7), degut a les dimensions habituals d'una aula de primària, qualsevol altre element que trenqui la uniformitat de la paret posterior (prestatges, mobles, etc.) causarà un efecte similar, i ens ajudarà de la mateixa manera a millorar la intel·ligibilitat en aquesta zona.

3. Millores de l'acústica en aules existents.

En la majoria d'aules escolars existents, molts dels aspectes anteriorment comentats no van ser tinguts en compte en el moment de la construcció, apareixent deficiències en la qualitat acústica de les aules. A continuació s'exposen algunes solucions que ajuden a millorar l'acústica d'aquestes aules.

3.1. Millorar l'aïllament.

L'aïllament és, en la majoria dels casos, el punt feble de les aules escolars. Aconseguir que l'ambient sorollós de patis, carrer i passadissos no interfereixi a l'activitat docent dins l'aula serà, com hem dit, l'objectiu principal. Caldrà mesurar el soroll de fons de l'aula per determinar si cal reforçar l'aïllament existent.

Degut a que en pocs casos podrem modificar les parets de l'aula, ens centrarem en evitar l'existència d'esclatxes i altres camins secundaris pel so, que anul·lin l'aïllament existent. Caldrà tenir especial cura en:

- **Bon tancament de les portes.** Evitar que quedin esclotxes un cop la porta queda tancada. Un bon ajust amb el terra i amb el marc milloraran significativament l'aïllament acústic de la porta.

- **Bon tancament de finestres.** Igual que en el cas anterior cal assegurar que un cop tancada la finestra no existeix cap esclotxa. Es recomana *vidre doble* per tal de reforçar l'aïllament envers el soroll del carrer/pati.

- **Aïllament de les caixes de persianes.** Caldrà tractarles acústicament, afegint-hi material absorbent i assegurant que les unions amb la finestra i la façana són bones, per tal d'evitar que anul·lin un bon aïllament general de la paret.

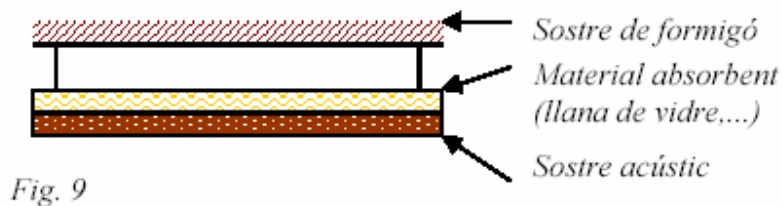
Moltes vegades es realitzen moviments de taules i cadires, com per exemple al finalitzar una classe, etc. Aquests moviments fan que quan les taules i cadires que s'arrosseguen generin l'anomenat **soroll d'impacte**. Aquest soroll, a més de resultar molest a la mateixa aula on es genera, viatja principalment cap al pis inferior. Una solució molt eficaç per reduir el soroll d'impacte consisteix en col·locar punteres de cautxú o goma a les potes de les taules i cadires de l'aula.

Aquestes fan disminuir el soroll del fregament de les potes amb el terra, i per tant reduiran tant el soroll produït a la mateixa aula com el que es transmetrà cap al pis inferior

3.2. Tractament acústic de l'aula.

En primer lloc ens cal determinar quin és el temps de reverberació de la nostra aula mitjançant una mesura *in situ*. En el cas que el temps de reverberació mesurat sigui superior als marges desitjats caldrà afegir absorció a l'aula de manera que aquest es redueixi.

Amb un tractament acústic adequat del sostre, podem ajustar força el temps de reverberació. La solució més eficient serà la instal·lació d'un fals sostre de material absorbent. Els panells de material absorbent es munten sobre unes guies suspeses del sostre, i sovint la cavitat (*o plènum*) s'omple també amb material absorbent [fig. 9].



Tal i com havíem vist, el temps de reverberació depenia tant del volum de la sala com de quantitat d'absorció que presentava (veure 1.Principis Bàsics). Així doncs, el fals sostre no només reduirà el TR degut a que aporta més absorció a l'aula, sinó que també **implica una reducció del volum** d'aquesta (el nou sostre absorbent estarà més baix que el sostre original de l'aula).

Existeixen diferents disposicions de sostre absorbent, en funció de:

- *Material de què estiguin fets els panells absorbents*
- *Distància a la que es col·loqui del sostre original*
- *Material absorbent amb què s'ompli la cavitat*

4. Punts guia.

Com a resum dels diferents criteris de disseny exposats per tal d'obtenir la qualitat acústica que requereix una aula escolar, podem dir que:

4.1 Per a aules de nova construcció:

a) Estudi acústic previ a la construcció final.

b) Bon aïllament entre aules colindants i passadís:

- *Paret doble entre aules.*
- *Bon aïllament en portes. Evitar portes entre aules.*
- *Disposició adequada de portes i professors entre aules properes*

c) Bon aïllament de façana envers el soroll exterior de l'edifici:

- *Finestres amb vidre doble*
- *Caixes de persiana amb aïllament adequat*

- d) Sostre absorbent per garantir un temps de reverberació adequat.
- e) Evitar l'ús de materials reflectants (vidre, rajola, etc) a les parets.

4.2. Per a millorar aules existents:

a) Reforçar l'aïllament:

- *Reforçar l'aïllament dels elements de façana: finestres amb vidre doble, aïllament en caixes de persianes, ...*
- *Assegurar un bon tancament de les portes*

b) Condicionament acústic per ajustar el temps de reverberació:

- *Instal·lació d'un fals sostre absorbent per reduir el TR.*

c) Instal·lació de punteres de cautxú en les potes de taules i cadires per reduir el soroll d'impacte.



Tots els punts anteriors formen un conjunt de recomanacions generals. És convenient realitzar un estudi individual per a cada recinte, per tal de particularitzar de manera adequada els diferents punts guia.

5. Apèndix: Menjadors escolars.

A les escoles existeixen certes dependències on els nivells sonors que hi trobem són considerablement elevats. Un clar exemple el trobem en els menjadors escolars.

Els menjadors escolars tenen una capacitat força superior a la d'una aula, i s'hi desenvolupa un tipus d'activitat molt més sorollosa. Per aquest motiu, si no existeix un tractament acústic adient, els nivells sonors poden resultar excessivament molestos.

El principal paràmetre que ens caldrà controlar serà el temps de reverberació. Ja hem comentat que per motius pràctics no resultarà viable recobrir les parets de material absorbent per tal de disminuir-lo, però cal evitar que aquestes siguin especialment reflectants. No seran recomanables finestres o parets de vidre o pavès, per exemple. En alguns menjadors també es dona el cas de parets enrajolades, sent aquestes indesitjablement reflectants.

La solució més eficient és la instal·lació d'un **fals sostre absorbent**, tot i que en aquest cas el material de què estan formats els panells haurà de ser molt més absorbent que en el cas de les aules. Existeixen panells especialment dissenyats per a menjadors, ja que compleixen alhora les mesures higièniques i sanitàries exigides.



Menjador escolar sense cap tractament acústic [fig. 10]



*El temps de reverberació recomanat per a menjadors escolars estroba entre **0.8 i 1.2** segons.*

Una font de soroll important en els menjadors escolars és el soroll d'impacte, produït per l'arrossegament de taules i cadires, safates, plats, etc... Degut a que el moviment d'alumnes és gairebé continu, aquest tipus de soroll és molt més significatiu que en el cas de les aules. Caldrà doncs afegir **elements amortidors del soroll d'impacte**, com per exemple punteres de cautxú o goma a les potes de taules i cadires.

Donada la variabilitat de dimensions i estructura dels menjadors, el conjunt de recomanacions anteriors només resultaran efectives si s'apliquen després d'un estudi acústic previ, que permeti particularitzar-les de la manera més eficient.