

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

GRAU EN ENG. SIST. DE TELECOM., SO I IMATGE

---



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



ESCUELA POLITÉCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

# “Estudi de la contaminació acústica en les aules de l’institut Marta Mata de Salou”

**TREBALL FINAL DE GRAU**

Autor/a:  
**Salvador Costa Burguera**

Tutor/a:  
**Jesús Alba Fernández**  
**Romina M<sup>a</sup> Del Rey Tormos**

**GANDIA, 04/09/2015**

## **AGRAIMENTS**

Abans de començar amb el treball final de grau volia fer una sèrie d'agraïments a les persones que han fet possible que acabés el curs d'adaptació a grau i aquest treball.

Primer que res agrair a la meva família, sobretot a mon pare, Salvador Costa Riera i a ma mare Amparo Burguera Guillem així com també a la meva novia Anna Moragues Sanfèlix per haver-me ficat en el cap la idea d'acabar el curs d'adaptació a grau, d'exigir-me pràcticament que l'acabés i no el deixés a mitges com estava ara mateix fa un any.

Ara fa just aquest any, quan em vaig matricular de nou del curs d'adaptació a grau per insistència d'ells ho veia pràcticament impossible perquè havia de compaginar l'estudi del curs d'adaptació a grau amb el meu treball i fer-ho a més a més a distància. Però amb constància, sacrifici, moltes hores d'estudi i molts ànims i comprensió per part tots hui vinc a defensar el treball final de grau.

Agrair també especialment als meus tutors Jesús Alba Fernández i Romina M<sup>a</sup> Del Rey Tormos per haver-me aconsellat a que elegís un treball que tingués a veure amb el meu lloc de treball i haver acceptat immediatament ser els meus tutors. Per la seva paciència, les seves orientacions, els seus consells, compartir el seu saber amb mi, per facilitar-me la instrumentació necessària per dur a terme el treball, i per contestar a cadascuna de les consultes que els feia. Sense ells tampoc hauria estat possible.

Per últim agrair a tot el personal i companys de l'Institut Marta Mata de Salou per l'ajuda rebuda en tots els sentits durant les mesures realitzades, acceptant i accedint a que realitzes les mesures durant les seves hores lectives i permetent que dediqués les meves hores de guàrdia per a realitzar-les mentre ells cobrien a la gent que faltava.

Sense tots ells avuí no estaria defensant el meu treball final de grau. Moltes gràcies a tots.

## RESUM

En aquest treball final de grau el que es pretén es quantificar el nivell de contaminació acústica que existeix a les aules, o dit d'una altra manera, l'exposició al soroll del professorat i l'alumnat de l'institut Marta Mata de Salou, institut de titularitat pública depenent del Departament d'educació de Catalunya.

Actualment, als centres educatius els alumnes i professors estan sotmesos a un risc en la seva salut associat al soroll que han de suportar. A més a més, el increment en la ràtio, és a dir, l'augment del nombre d'alumnes a les aules, ha fet agreujar aquest problema.

És per això, que aquest estudi avaluarà en primer lloc l'estat actual sense alumnes i amb alumnes, des de el punt de vista de la Llei Estatal del Soroll, de la normativa autonòmica catalana, de la Ordenança Municipal de Salou [1], i de les recomanacions de la Organització Mundial de la Salut (OMS) [2], seguint les directrius marcades en les normes UNE-ISO 1996-1:2005 "Magnituds bàsiques i mètodes d'avaluació" [3] i UNE-ISO 1996-2:2009 "Determinació dels nivells de soroll ambiental" [4]

Posteriorment, es farà una valoració dels resultats obtinguts, es comprovarà si compleix la normativa i es proposaran possibles solucions, si cal, que milloren les condicions actuals de les aules.

Paraules clau: contaminació acústica, salut i soroll, exposició al soroll.

## ABSTRACT

The aim of this final project work is to rate the level of noise that exists in the classroom, or said in another way, the noise exposure of the students and teachers in the high school of Marta Mata in Salou, workplace of the person in charge of this work.

Currently, students and teachers in the schools have a risk of their health associated with the noise that they must endure. In addition, the increase of students in the classrooms increases this problem.

For all of this, this study will assess the current status with and without students, from the point of view of the State Law noise, the Catalan regional legislation, the ordinance of Salou [1], and the recommendations of the World Health Organization (WHO) [2], following the guidelines in the UNE-ISO 1996-1:2005 [3] and UNE-ISO 1996-2:2009 [4].

Lastly, the results will be evaluated and it will be checked if the results meets the rules and it will be proposed new solutions if it is necessary to improve the conditions in the classrooms.

Keywords: noise pollution, health and noise, noise exposure.

---

**INDEX**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓ</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2. CONCEPTES TEÒRICS</b>                                    | <b>7</b>  |
| 2.1. Introducció bàsica  | 7         |
| 2.2. Normes i Lleis del soroll                                 | 10        |
| 2.2.1. Marc Normatiu   | 11        |
| 2.2.2. Legislació Europea                                      | 11        |
| 2.2.3. Legislació Estatal                                      | 12        |
| 2.2.4. Legislació Autonòmica                                   | 13        |
| 2.2.5. Legislació Municipal                                    | 14        |
| 2.2.6. Recomanacions OMS                                       | 14        |
| 2.3. Normes de mesura  | 14        |
| 2.4. Teoria de càlcul de la reducció de soroll                 | 19        |
| <b>3. ANÀLISIS EXPERIMENTAL</b>                                | <b>21</b> |
| 3.1. Instrumentació  | 21        |
| 3.2. Mesures de soroll realitzades sense alumnes i amb alumnes | 23        |
| 3.3. Diagnòstic actual de les aules                            | 31        |
| <b>4. PROPOSTES DE REDUCCIÓ DEL SOROLL</b>                     | <b>34</b> |
| 4.1. Elecció de materials                                      | 34        |
| 4.2. Càlculs de reducció                                       | 37        |
| 4.3. Previsió final de soroll                                  | 41        |
| <b>5. CONCLUSIONS I FUTURES LÍNIES</b>                         | <b>43</b> |
| <b>6. REFERÈNCIES</b>  | <b>44</b> |
| <b>7. ANNEXOS</b>  | <b>46</b> |
| 7.1. ANNEX I. MESURES REGISTRADES                              | 46        |
| 7.2. IMATGES DE MESURES  | 48        |

## 1.- INTRODUCCIÓ

Definirem el soroll com a sons molestos que percep l'oïda. Segons el tipus, la durada, el lloc i el moment on es produeixen, els sons poden ser molestos, incòmodes i arribar a alterar el benestar fisiològic o psicològic dels éssers vius; llavors en diem soroll i es considera contaminació. Aquest soroll és considerat un agent contaminant més, des que així es va reconèixer oficialment per primera vegada en la Conferència de les Nacions Unides sobre Medi Ambient Humà, reunida a Estocolm l'any 1972. Els experts consideren la contaminació acústica com una de les més molestes i de les que major incidència tenen sobre el benestar ciutadà.

Per tant com que es considerat un agent contaminant s'han de complir una sèrie de lleis, normatives i recomanacions, que després es veuran, per tal d'intentar reduir al màxim aquest soroll i aconseguir que els nivells rebuts d'aquest, estiguin dintre dels nivells indicats per tal de que no sigui perjudicial en aquest cas ni per al professorat ni per a l'alumnat.

L'Organització Mundial de la Salut (OMS) [2], recomana un nivell d'exposició màxim de 65 dB. Un estudi demostra que la població exposada a un nivell de soroll major de 65 dB desenvolupa a curt termini un índex superior a un 20% d'atacs cardíacs, per altra banda i duent el tema a la part docent, un estudi parla de que els xiquets, els col·legis dels quals estan envoltats de zones sorolloses, aprenen a llegir molt més tard, presenten major agressivitat, fatiga, agitació, baralles més freqüents i major tendència al aïllament i certa dificultat de relacionar-se amb la resta.

És per totes aquestes qüestions, que aquest treball final de grau, tal i com s'ha enunciat al resum de la pàgina anterior, té per objectiu avaluar el nivell de soroll produït a les aules de l'Institut Marta Mata de Salou, derivades de l'activitat diària al centre amb alumnes.

Per dur a terme l'estudi, es va decidir fer el càlcul en diferents aules de diferents nivells educatius per determinar, a banda del compliment de la normativa vigent i les recomanacions de l'Organització Mundial de la Salut (OMS) [2] sobre contaminació acústica, si hi havia influència del nivell sonor amb l'edat de l'alumnat i el nombre d'alumnat en classe.

L'estudi s'ha realitzat en les aules de 1r d'ESO que correspon amb un alumnat de 12 anys, 2n d'ESO que correspon a un alumnat de 13 anys i per últim a 2n de Batxillerat, que és un alumnat amb 17 anys. A més a més, durant l'estudi en algun dels grups s'han mesurat els sorolls rebuts amb tota la classe al complet i amb altres s'ha fet a una classe amb menys alumnes per poder veure si existeix una influència directa entre el nombre d'alumnes i el nivell mesurat.

A banda de voler comparar el nivell de soroll per nivells educatius també s'ha volgut fer una comparativa d'un mateix nivell educatiu en dues aules completament diferents, l'aula de classe, on normalment es realitza un treball més teòric i el gimnàs, on l'alumnat realitza treball físic i sol estar més actiu.

La persona encarregada d'aquest treball final de grau (TFG) es trobava treballant com a professor en aquest centre. Per tant, a l'hora d'escollir el TFG, es va valorar que el tema, estigués directament relacionat amb el seu lloc de treball per tal d'aconseguir a més a més de l'estudi sobre la contaminació acústica de les aules,

aconseguir també una sèrie de conclusions i reflexions sobre la salubritat i perill que existeix en aquest lloc de treball. Implicant així activament al propi autor d'aquets TFG a intentar modificar i millorar, dintre de la seva possibilitat, els nivells de soroll a les aules de l'institut ficant en coneixement a la direcció del centre les possibles mesures correctores amb la finalitat de que el soroll no sigui nociu per a la seva salut.

El contingut del treball final de grau estarà dividit en tres apartats, el primer serà una introducció als conceptes teòrics bàsics, on es veurà la normativa, les lleis del soroll, les normes a seguir a l'hora de fer la mesura i la teoria del càlcul de reducció del soroll. El segon apartat constarà de l'anàlisi experimental on veurem la instrumentació utilitzada, les mesures del soroll obtingudes amb i sense alumnes i el diagnòstic actual de les aules. I per últim un tercer apartat dedicat a propostes de reducció de soroll, on s'estudiaran i es proposaran propostes de millora per a intentar reduir els nivells de soroll obtinguts. Per acabar amb unes conclusions sobre tot el treballat i les referències d'aquest.

## 2.- CONCEPTES TEÒRICS

### 2.1- Introducció bàsica.

En acústica, la majoria de vegades el decibel s'utilitza per comparar la pressió sonora en l'aire amb una pressió sonora de referència, els nivells de soroll típics són:

- La font que emet una potència sonora (**L<sub>w</sub>**) que en aquest cas serien els alumnes dintre de l'aula i els possibles sorolls produïts.
- L'oient que rep una pressió sonora (**L<sub>p</sub>**, pressió exercida per la vibració de l'aire sobre el timpà) en aquest cas serà el professor qui rep aquesta pressió sonora.

En acústica ambiental les magnituds significatives són el nivell sonor ponderat en la xarxa A, encara que també s'estudien el B i el C. La xarxa A és la que més s'utilitza, ja que resulta ser la complementària al llindar d'audició, ponderant així la intensitat d'un soroll amb la sensibilitat que l'oïda té a dita freqüència.

Per tant de les mesures obtingudes amb la nostra instrumentació ens centrarem en el nivell A i el nivell màxim amb ponderació C. Ambdues són també les utilitzades per les normes UNE-ISO 1996-1:2005 [3], UNE-ISO 1996-2:2009 [4] i la RD 286/2006 de Seguretat e Higiene en el treball [5].

A la gràfica i taules següents podem veure les corbes i els valors de ponderació per a aquestes dues xarxes estudiades.

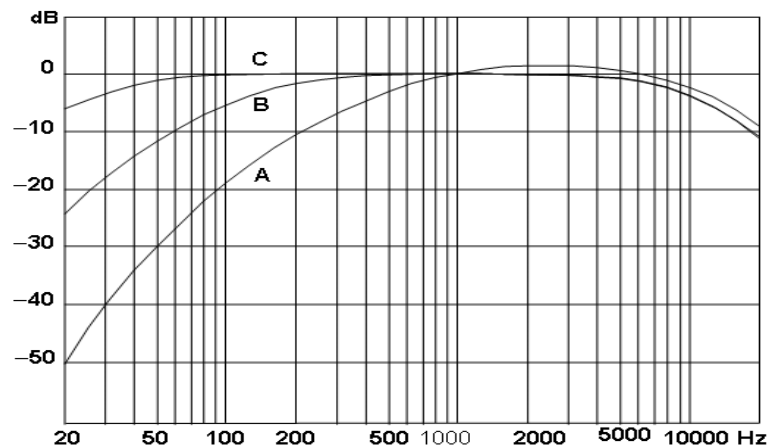


Figura 1. Corbes de ponderació en freqüència. Font. "Conceptes bàsics del soroll ambiental", Fernando Segué – CEDEX [6]

| Banda de Freqüències (Hz) |                   | Correccions en dB |         |
|---------------------------|-------------------|-------------------|---------|
| Freqüència Nominal        | Freqüència exacta | Xarxa A           | Xarxa C |
| 31,50                     | 31,62             | - 39,4            | - 3,0   |
| 63,00                     | 63,10             | - 26,2            | - 0,8   |
| 125,00                    | 125,90            | - 16,1            | - 0,2   |
| 250,00                    | 251,20            | - 8,6             | 0       |
| 500,00                    | 501,20            | - 3,2             | 0       |

|         |         |       |       |
|---------|---------|-------|-------|
| 1000,00 | 1000,00 | 0     | 0     |
| 2000,00 | 1995,00 | + 1,2 | - 0,2 |
| 4000,00 | 3981,00 | + 1   | - 0,8 |
| 8000,00 | 7943,00 | - 1,1 | - 3,0 |

Taula 1. Nivells de correcció de la xarxa A i C. Font. "Acústica bàsica", Borja Azpiroz, [7]

Per tant el nivell de pressió sonor (nivell sonor). L , SPL

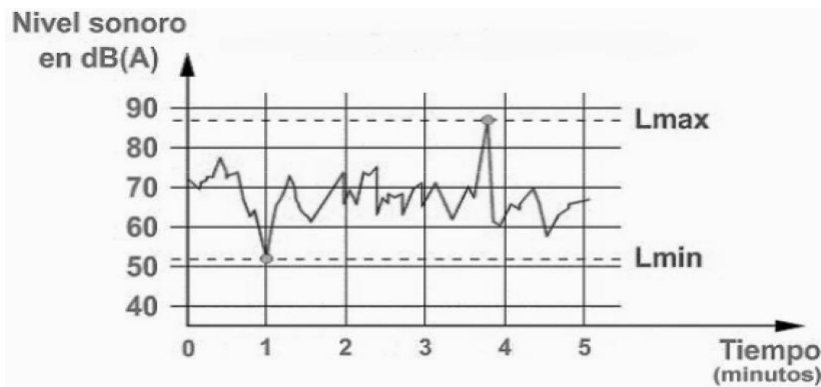


Figura 2. Nivell de pressió sonor. Font "Conceptes bàsics del soroll ambiental", Fernando Segué – CEDEX [6]

La magnitud acústica a tenir en compte en aquest projecte és:

- El nivell sonor equivalent en ponderació A

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad \text{dB(A)}$$

Com que es tracta d'un estudi dintre de les aules d'un institut s'està parlant de l'estudi dintre d'un camp confinat, per tant la teoria diu que el nivell sonor total dintre d'un camp confinat serà la superposició del camp directe (LPD) i el camp reverberant (LPR).

- Parlem de **camp directe**, quan es tracta del soroll rebut directament sense reflexions ni cap modificació més que la distància, derivades en aquest estudi de les accions normals al centre o veus de l'alumnat, etc

**Camp directe; LPD = Lw - 11 - 20logr**

- El **camp reverberat**, és tracta dels sons que arriben després de múltiples reflexions del so directe sobre qualsevol obstacle, parets, finestres, etc. Que acaben perturbant el soroll del camp directe degut als desfasaments.

**Camp reverberat; LPR = Lw + 6 - 10logA**

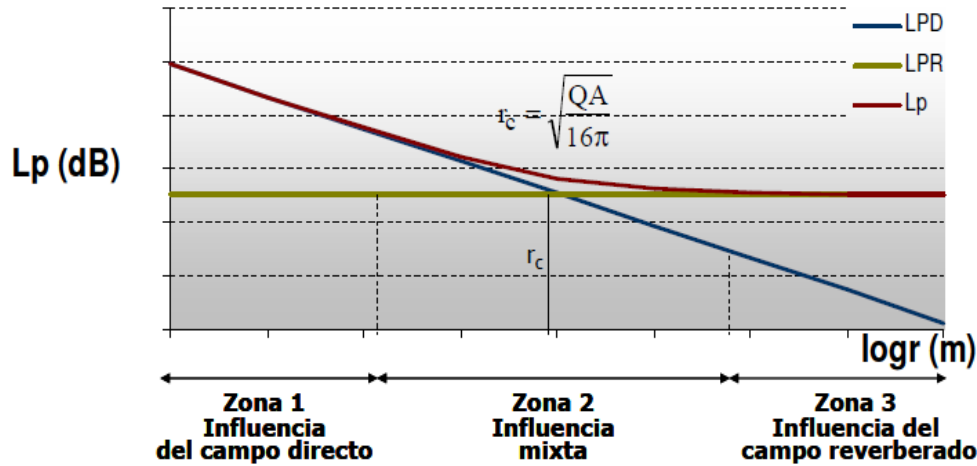
I per tant la superposició dels dos camps dona;



$$LPT = LPD + LPR$$

d'on:

- $LPD = L_w - 20 \log r - 11 + 10 \log Q$
- $LPR = L_w - 10 \log A + 6 \text{ dB}$



**Figura 3.** Accions globals camp confinat. Font "Conceptes bàsics del soroll ambiental", Fernando Segués – CEDEX [6]

El nivell de pressió  $L_p$  en dB(A) en un punt del local s'obté amb la següent fórmula:

$$L_p(\text{dBA}) = L_w(\text{dBA}) + 10 \log \left[ \frac{4}{A} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right]$$

on:

$L_w$  : es la potència acústica de la font en dB(A)

$Q$  : es el factor de directivitat de la font (ex. omnidireccional  $Q=1$ )

$A$  : es el àrea de absorció del local

$r$  = distància a la font acústica

Un altre factor a tenir en compte a l'hora de treballar en un camp confinat com és el cas d'aquest treball final de grau, és el temps de reverberació, **TR** aquest té una influència directa en la percepció de qualsevol so procedent d'una font.

El temps de reverberació es defineix com la persistència del so dintre d'un recinte, després de que el so original hagi cessat. Són múltiples "ecos" les intensitats dels quals van descendint.

Per tant la reverberació en una sala modifica de forma important les seves qualitats acústiques. Per a que la sonoritat sigui la adequada, el temps no seu ser ni alt ni baix, sinó ajustar-se a l'ús que tindrà la sala. És per això que les sales com teatres o **aules o llocs on hi hagi veu parlada** com és el cas d'aquest estudi, **el temps de reverberació ha de ser baix**, mentre que per exemple diferents gèneres musicals exigeixen temps de reverberació molt més alts que el considerat òptim per a la paraula.

El físic Wallace Clement Sabine [8], va desenvolupar una fórmula senzilla per al càlcul d'aquests temps de reverberació, la fórmula relaciona el volum del recinte amb la superfície i absorció d'aquestes, de manera que el temps de reverberació serà major quan major sigui el volum del recinte i menor sigui grau l'absorció dels materials instal·lats, podent d'aquesta forma, jugar amb els materials i modificar el temps de reverberació segons les necessitats del local, recinte, aula, etc.

$$t_R = \frac{0'16V}{A}$$

De la fórmula anterior es sap que  $V$  és el volum del recinte a estudiar (llargada x amplada x alçada) mentre que  $A$  és igual al coeficient d'absorció per la superfície total del recinte, és a dir,

$$A = \alpha \cdot St$$

d'on:

- $\alpha$ , coeficient d'absorció dels materials instal·lats al recinte, aula, etc.
- $St$ , és la superfície total de les aules.

## 2.2.- Normes i lleis del soroll.

En l'actualitat la normativa que intenta controlar la contaminació acústica és molt amplia. La legislació es recolza amb l'ús de normes tècniques desenvolupades per organismes internacionals que avaluen la qualitat, com per exemple AENOR (Associació Espanyola de Normalització i Certificació) [9], ISO (International Organization for Standardization) [10], UNE (Norma per al cas d'Espanya) [11], etc.

Per a la redacció i realització d'aquest projecte s'han tingut en compte:

- Les **normes d'obligat compliment**, que són aquelles emeses per Ministeris o Ajuntaments, són normes que determinen la forma de realitzar les mesures i senyalen els valors límits en les diverses activitats contemplades.
- Les **normes de procediment** que són redactades per organismes nacionals o supranacionals dedicades a la racionalització i normalització, descriuen els processos per a realitzar les mesures, així com les característiques dels equips que les realitzen.

A banda de la normativa existent, l'**Organització Mundial de la Salut (OMS)** [2], que és un organisme autoritat directiva i coordinador de l'acció sanitària en el sistema de les Nacions Unides i que té entre altres, com a funció principal ser el líder en assumptes sanitaris mundials, establir normes, etc estableix una sèrie de recomanacions sobre nivells de soroll que també s'han de tenir en consideració a l'hora d'elaborar aquesta memòria.

### 2.2.1.- Marc normatiu

El marc normatiu que estableix les lleis i normes que s'han d'aplicar i respectar sobre els nivells de soroll o contaminació acústica, ve resumit en el següent quadre on podem veure des de la normativa a la unió europea, la normativa estatal, o la pròpia de cada comunitat autònoma per acabar en la normativa local o ordenances municipals.

|                |  |   |   |  |
|----------------|--|---|---|--|
|                | Ambient laboral D-86/188/CE  | Comitè tècnic CEN   | Llibre verd de la Unió Europea 1996   |  |
| <b>UE</b>      |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Normes Mesura</li> <li>▪ ISO 1996</li> <li>▪ Soroll Ambiental</li> <li>▪ Equips</li> <li>▪ Màquines</li> </ul> | Emissions sonores<br><ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vehicles D-70/157/CE – D-96/20/CE</li> <li>▪ Motos D-78/101/CE</li> <li>▪ Aeronaus D-80/51/CE</li> <li>▪ Aparells domèstics D-86/649/CE</li> <li>▪ Maquinaria d'ús exterior D-2000/14/CE</li> </ul>             | Exposició al soroll<br><br>Directiva 2002/49/CE<br>Avaluació i Gestió del soroll ambiental |
| <b>ESTATAL</b> | Transposició a normes espanyoles de les Directrius d'emissions sonores<br><br><ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Norma UNE-EN 1793 Dispositius contra el soroll</li> <li>▪ Ordre 25/09/2007 Instruments de Mesura</li> </ul> |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R.D. 2414/1961, RAMINP</li> <li>▪ R.D. 1131/1986, de EIA</li> <li>▪ Llei 16/2002, IPPC</li> <li>▪ Llei 37/2003, del soroll</li> <li>▪ R.D. 1513/2005 Avaluació i gestió</li> <li>▪ R.D 1367/2007 Zonificació, OCA's i VLE</li> </ul> |  |
| <b>CCAA</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Llei de medi ambient i contaminació acústica</li> <li>▪ Decrets sobre soroll ambiental</li> <li>▪ Ordenances tipus</li> </ul>   |   |   |  |
| <b>Local</b>   | Ordenances municipals de protecció contra la contaminació acústica   |   |   |  |

Taula 2. Resum marc normatiu.

A continuació es detallaran aquelles lleis o normes més importants de les vistes al quadre resum anterior.

### 2.2.2.- Legislació Europea

- **Llibre verd de la Unió Europea, de 1996**, en la que es determina la política futura de lluita contra el soroll. [12]
- **Directiva de Soroll ambiental, 2002/49/CE**, de 25 de juny de 2002 sobre l'avaluació i gestió del soroll ambiental.
- **Directiva 2003/10/CE**, de 6 de febrer de 2003, sobre les disposicions mínimes de seguretat i salut relatives a la exposició dels treballadors als riscos derivats d'agents físics (soroll) [13]

Els riscos derivats de l'exposició al soroll tindran que ser eliminats en el seu origen o reduir-se el màxim possible.

**La directiva estableix un nou valor límit d'exposició diària de 87 dB(A).**

### 2.2.3.- Legislació estatal

En quant a legislació estatal direm que el soroll no tenia cap norma reguladora estatal fins que es va redactar la Llei 37/2003, de 17 de Novembre, del Soroll. Aquesta va ser creada per fer complir els mandats constitucionals; article 43 i 45 de la Constitució, “**protegir la salut i el medi ambient**”, que engloben en el seu alçancs la protecció contra la contaminació acústica. A més a més també va trobar recolzament en alguns drets fonamentals reconeguts en la Constitució, com ara, el dret a la intimitat personal i familiar, consagrat a l'article 18.1

- **LLEI 37/2003, de 17 de novembre, del Soroll.** La finalitat d'aquesta llei és prevenir, vigilar i reduir la contaminació acústica, per evitar els danys que d'aquesta poden derivar-se. [14]
- **Reial Decret 1513/2005, de 16 de desembre,** pel qual es desenvolupa la Llei 37/2003, de 17 de novembre, del Soroll, en referència a avaluació i gestió del soroll ambiental. [15]
- **Reial Decret 1367/2007, de 19 d'octubre,** pel qual es desenvolupa la Llei 37/2003, de 17 de novembre, del Soroll, en allò referent a zonificació acústica, objectius de qualitat i emissions acústiques. [16]

On venen determinats els nivells de qualitat acústica per a sorolls aplicables en espais interiors de edificacions destinades a vivendes, usos residencials, hospitalaris, educatius o culturals.

| Ús de l'edifici          | Tipus de Recinte | Índex del soroll |                |                |
|--------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
|                          |                  | L <sub>d</sub>   | L <sub>e</sub> | L <sub>n</sub> |
| Vivenda o us residencial | Estança          | 45               | 45             | 35             |
|                          | Dormitori        | 40               | 40             | 30             |
| Hospitalari              | Zones d'estança  | 45               | 45             | 35             |
|                          | Dormitori        | 40               | 40             | 30             |
| Educatiu o cultural      | Aules            | 40               | 40             | 40             |
|                          | Sales de lectura | 35               | 35             | 35             |

**Taula 3.** Nivells de soroll màxims aplicables en espai interior. **Font.** Reial Decret 1367/2007, de 19 d'octubre

- **Document bàsic de protecció davant el soroll** (Real Decret 1371/2007), completa CTE 2006. Exigeix millores a l'aïllament acústic d'edificis Real Decret 1369/2007
- **Reial Decret 286/2006 del 10 de Març,** sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors contra els riscos relacionats amb l'exposició al soroll. Basat en la llei 31/1995, de 8 de novembre, de Prevenció de Riscos Laborals, té per objectiu establir les disposicions mínimes per a la protecció dels treballadors contra riscos per a la seva seguretat i la seva salut derivats o que puguin derivar-se de l'exposició al soroll. [5]

Aquest Decret estableix els valors límit d'exposició i els valors d'exposició que donen lloc a una acció, referida als nivells d'exposició diària i als nivells de pic, es fixen en:

| <b>Reial Decret 286/2006</b>                | <b>LA, eq</b> | <b>Lpic C</b> |
|---|---------------|---------------|
| Valors límits d'exposició                   | 87 dB(A)      | 140 dB(A)     |
| Valors superiors que donen lloc a una acció | 85 dB(A)      | 137 dB(A)     |
| Valors inferiors que donen lloc a una acció | 80 dB(A)      | 135 dB(A)     |

**Taula 4.** Nivells límit d'exposició. **Font.** Reial Decret 286/2006, de 10 de març [5]

#### **2.2.4.- Legislació autonòmica**

La legislació autonòmica referent al soroll es pot resumir en la següent:

A Catalunya, els articles 27 i 46 de l'estatut d'autonomia estableixen el dret de totes les persones a la protecció davant les diferents formes de contaminació i que les polítiques ambientals dels poders públics han de dirigir, entre d'altres finalitats, a la reducció de les diferents formes de contaminació, mitjançant l'adopció de les corresponents polítiques públiques.

- **Llei 16/2002, de 28 de juny**, de protecció contra la contaminació acústica. L'objecte d'aquesta Llei és regular les mesures necessàries per a prevenir i corregir la contaminació acústica, que afecta els ciutadans i ciutadanes i el medi ambient, provocada pels sorolls i les vibracions, i alhora establir un règim d'intervenció administrativa que sigui aplicable a tot el territori de Catalunya. [17]
- **Decret 245/2005, de 8 de novembre**, aquest Decret té per objecte establir els criteris per a l'elaboració dels mapes de capacitat acústica regulats a l'article 9 de la Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica. [18]
  - A l'annex I d'aquest decret ens decreta els centres docents, objecte d'aquest estudi, com a zona de sensibilitat acústica alta (A).
- **Decret 176/2009, de 10 de novembre**, per la qual s'aprova el Reglament de la Llei 16/2002, de 28 de juny, i se n'adapten els annexos. [19]
  - A l'article 39 d'aquest decret referent a, objectius de qualitat acústica aplicables a l'ambient d'interiors, s'estableix com a objectiu de qualitat acústica, sense perjudici del que estableix l'apartat 2, la no superació en l'espai interior de les edificacions destinades a habitatge o usos residencials, hospitalaris, educatius o culturals dels valors límit d'immissió sonora i de vibracions establerts, respectivament, a les taules dels annexos B i 7.
  - Aquest Decret és veu integrat en la legislació o ordenança municipal que es veurà al següent punt.

### 2.2.5.- Legislació municipal

- **Ordenança Municipal de Salou, reguladora del soroll i les vibracions,** L'ordenança municipal de Salou té per objectiu regular les mesures i instruments municipals necessaris per prevenir i corregir la contaminació acústica. [1]

#### **ANNEX 2, Objectius de qualitat aplicables a l'espai interior, de l'ordenança municipal**

En aquest apartat em pogut comprovar els valors límits d'immissió acústica que són permesos a l'interior de diferents dependències, sempre depenent de l'ús al qual estigui destinat. En el projecte en qüestió es tracta d'un **ús educatiu** i per tant els nivells màxims d'immissió i els quals no es deuran superar, són els de la taula següent:

|                        |                                       |    |    |    |
|------------------------|---------------------------------------|----|----|----|
| Ús educatiu o cultural | Aules                                 | 40 | 40 | 40 |
|                        | Sales de lectura, audició i exposició | 35 | 35 | 35 |

**Figura 4.** Valors límits d'immissió acústica. **Font.** Ordenança municipal de Salou.

Aquets valors són els que seran comparats amb els valors obtinguts com a mesura de soroll de fons realitzats in-situ, ja que, quan calculem els nivells de soroll de fons estem valorant tots els sorolls que es perceben a l'interior de l'espai a estudiar sense cap soroll produït a l'interior d'aquest.

### 2.2.6.- Recomanacions de l'organització mundial de la salut (OMS)

L'organització mundial de la salut (OMS) [2], limita el nivell de soroll diari recomanat en **65dB**, per tant qualsevol nivell superior serà considerat com a perillós segons el que dicta aquesta organització. Aquest nivell és una recomanació i mai una norma o llei d'obligat compliment.

### 2.3.- Normes de Mesura

Per dur a terme el treball i l'estratègia a seguir per obtenir les mesures s'han fet complir les normes UNE- ISO 1996 "Acústica. Descripció, mesura i avaluació del soroll ambiental" desenvolupades en la seves dues parts **UNE-ISO 1996-1:2005. "Magnituds bàsiques i mètodes d'avaluació"** [3] i **UNE-ISO 1996-2:2009 "Determinació dels nivells de soroll ambiental"** [4]. Aquestes normes pretenen harmonitzar internacionalment els mètodes de descripció, mesura i avaluació del soroll mediambiental de qualsevol font.

Segons aqueta norma, l'avaluació de la molèstia produïda pel soroll a llarg termini és du millor a terme adoptant el nivell de pressió sonora equivalent ponderat en A corregit, anomenat, "nivell d'avaluació".

A més a més, per aplicar la **UNE-ISO 1996-1:2005** [3] és indispensable aquesta altra norma de consulta, la **IEC 61672-1** [20], aquesta nova norma ens dona especificacions electroacústiques sobre el tipus d'instrument de mesura a utilitzar per a realitzar les diferents mesures del soroll.

➤ **IEC 61672-1. INSTRUMENTS DE MESURA.**

L'equip o instrument de mesura que utilitzarem per a dur endavant l'estudi serà un sonòmetre. Un sonòmetre és un dispositiu que mesura la pressió acústica en cada moment, aplicant filtres i ponderacions al resultat per assemblar-lo a rebut per l'oïda humana, per això es podrà utilitzar per mesurar el nivell de pressió acústica ponderat A del soroll estable.

De forma general, els elements bàsics d'un sonòmetre són:

- **Micròfon**, és l'element principal del sonòmetre i condiciona la resta de funcions. Transforma la pressió de les ones sonores en ones elèctriques equivalents, amb la mateixa freqüència i amplitud. Poden ser de condensador, piezoelèctrics, etc.
- **Amplificador**, amplifica la senyal del micròfon per poder mesurar els nivells de pressió sonora més baixos. Deu mantenir una amplificació constant per a tota la gama de freqüències del sonòmetre.
- **Filtres de freqüència**, permeten incorporar a la mesura les corbes de ponderació A, B, C o D, segons l'objectiu de la mesura. La corba de ponderació A s'utilitza per a simular la forma en que l'oïda humana interpreta els sons que li arriben.
- **Rectificador i integrador**, es pot escollir el temps d'integració desitjat, és a dir, escollir cada quant de temps volem que el sonòmetre faci les mesures.
- **Visor o pantalla**, antigament eren analògics però actualment són digitals i és on es poden veure els resultats.

Existeixen diferents definicions de sonòmetres segons la norma **IEC 61672-1** [20]:

- **Sonòmetre convencional**, mesura nivell de so amb ponderació temporal exponencial.
- **Sonòmetre integrador**, mesura nivells d'exposició sonor.
- **Sonòmetre integrador-promediador**, mesura nivells de so promediats en el temps.

Aquest últim, el sonòmetre integrador-promediador, té l'avantatge que permet variar el temps de mesura des de segons fins a hores de manera que es podrà utilitzar per mesurar nivells de **pressió acústica continua equivalent ponderada en A ( $L_{Aeq, T}$ )** de qualsevol soroll que és l'objectiu de l'estudi.

La norma anomena sonòmetres de **classe 0, classe 1 i classe 2**, la diferència entre aquets sonòmetres esta en la precisió.

| Toleràncies permeses per als diferents tipus o classes de sonòmetres |   |         |
|--|---|---------|
| Classe   | Definició   | dB      |
| 0  | S'utilitza amb objectius de referència de laboratori, on es requereix una precisió extrema. | +/- 0.4 |
| 1  | S'utilitza en mesures de soroll on es necessita una precisió plana                          | +/- 0.7 |
| 2  | Tolerància menys estricta respecte a la linealitat del nivell i la resposta en freqüència.  | +/- 1.0 |

Taula 5. Toleràncies per als diferents sonòmetres. Font. IEC 61672-1

➤ **UNE-ISO 1996-1:2005 [3]. Magnituds bàsiques i mètodes d'avaluació**

Aquesta part de la norma **UNE-ISO 1996-1:2005 [3]** té com a finalitat definir les magnituds bàsiques que es deuen utilitzar per a la descripció del soroll i descriu els procediments bàsics d'avaluació. Es farà un resum de les magnituds bàsiques més importants a tenir en compte.

- **Nivell de pressió sonora ponderat en freqüència i ponderat en el temps:** És deu vegades el logaritme decimal del quadrat del quocient d'una pressió sonora quadràtica determinada i la pressió acústica de referència, que s'obté amb una ponderació freqüencial i una ponderació temporal normalitzades.
  - La pressió acústica de referència són 20 µPa.
  - La pressió acústica s'expressa en pascals (Pa)
  - Les ponderacions freqüencials normalitzades són les ponderacions A i C especificades en la norma IEC 61672-1, i les ponderacions temporals normalitzades són les ponderacions F i S especificades en la norma IEC 61672-1.
  - El nivell de pressió sonora ponderat en freqüència i ponderat en el temps s'expressa en decibels (dB).
  
- **Nivell de pressió sonora màxim ponderat en freqüència i ponderat en el temps:** És el major nivell de pressió sonora ponderat en freqüència i ponderat en el temps durant un interval de temps determinat.
  - El nivell de pressió sonor màxim ponderat en freqüència i ponderat en el temps s'expressa en decibels (dB)
  
- **Nivell d'exposició sonora:** És deu vegades el logaritme decimal del quocient de l'exposició sonora, E. I l'exposició sonora de referència, E<sub>0</sub>, sent l'exposició sonora la integral temporal del quadrat, variable en el temps, de la pressió sonora instantània ponderada en freqüència sobre un interval de temps determinat, T, o durant un succés.
  - E<sub>0</sub>, és igual al quadrat de la pressió acústica de referència de 20 µPa multiplicat per el interval de temps de 1 s [400(µPa)<sup>2</sup>s.]

$$L_E = 10 \lg \left( \frac{E}{E_0} \right) \text{dB}$$



$$E = \int_T p^2(t) dt \text{ dB}$$

- **Nivell de pressió sonora continua equivalent:** És deu vegades el logaritme decimal del quocient entre el quadrat de la pressió sonora quadràtica mitja durant un interval de temps determinat i la pressió acústica de referència, on la pressió sonora s'obté amb una ponderació freqüencial normalitzada.

El nivell de pressió sonora equivalent ponderada en A és,

$$L_{Aeq T} = 10 \lg \left[ \frac{1}{T} \int_T p_A^2(t) / p_0^2 dt \right] \text{ dB}$$

d'on:

- $p_A(T)$ , és la pressió sonora instantània ponderada A durant el funcionament de la font, t;
- $p_0$ , és la pressió acústica de referència (= 20  $\mu\text{Pa}$ )
- **Interval de temps**, interval de temps al que es refereix l'avaluació del soroll.
  - **Interval de referència**, interval de temps al que es refereix l'avaluació del soroll.
  - **Interval a llarg termini**, interval de temps específic sobre el que s'avalua el soroll d'una sèrie d'interval de referència.
- **Nivells d'avaluació:**
  - **Font de soroll única**, Sí, per a un interval de temps  $T_n$ , sols una font de soroll és de interès, el nivell d'avaluació és el nivell de pressió sonora continua equivalent calculat amb la següent fórmula, a partir dels nivells de pressió o d'exposició sonora corregits indicats en l'apartat anterior, El nivell d'avaluació es pot expressar en qualsevol dels intervals de temps explicats anteriorment.

$$L_{Req j, T_n} = 10 \lg \left( \frac{1}{T_n} \sum_i 10^{L_{REij} / 10} \right) \text{ dB}$$

- **Fonts de soroll combinades**, Els nivells d'avaluació de fonts combinades es pot expressar per a qualsevol interval de temps expressat anteriorment. En general el interval de temps T es divideix en interval de temps més petits, per a cada font. El nivell d'avaluació de pressió sonora continua equivalent ve indicada per:

$$L_{Req T} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \sum_n \sum_j T_{nj} \times 10^{L_{Req j, T_{nj}} / 10} \right) \text{ dB}$$

d'on,

$$T = \sum_n T_{nj}$$

per a cada font j.

➤ **UNE-ISO 1996-2:2009 [4]. Determinació dels nivells de soroll ambiental**

Aquesta segona part de la norma ens especifica com es poden determinar els nivells de pressió sonora mitjançant la mesura directa, per extrapolació dels resultats de la mesura, per mitjà del càlcul, o exclusivament mitjançant el càlcul, pretenent que això valga com a base per a valorar el soroll ambiental.

- **Termes i definicions.** A més dels inclosos en la part 1 d'aquesta norma, es tindran en compte els següents:
  - **Ubicació del receptor**
  - **Mètode de càlcul**
  - **Interval de temps de mesura**
- **Incertesa en les mesures.** La incertesa dels nivells de pressió sonora depenen de la font sonora i del interval de mesura, de les condicions meteorològiques, de la distància des de la font i el mètode de mesura i la instrumentació.

La incertesa es deu determinar d'acord amb la GUM (guia per a l'expressió de la incertesa en la mesura), en la següent taula es donen algunes directrius per estimar aquesta incertesa on aquesta s'expressa com una incertesa expandida basada en la incertesa típica combinada multiplicada per un factor de cobertura igual a 2, proporcionant així possibilitats de cobertura d'aproximadament el 95%.

| Incertesa típica                       |   |  |                                   | Incertesa típica combinada       | Incertesa de mesura expandida |
|--|---|--|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Degut a la instrumentació <sup>a</sup> | Degut a les condicions de funcionament <sup>b</sup> | Degut a les condicions meteorològiques i del terreny | Degut al so residual <sup>c</sup> |                                  |                               |
| 1,0                                    | X   | Y  | Z                                 | $\sigma_c$                       | $\pm 2.0 \sigma_c$            |
| dB                                     | dB  | dB   | dB                                | $\sqrt{1.0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$ |                               |

<sup>a</sup> Per a la instrumentació classe 1 de la norma IEC 61672-1:2002

<sup>b</sup> Per a ser determinat almenys a partir de tres mesures en condicions de repetibilitat i en una posició no les condicions meteorològiques tinguin una influència dèbil en els resultats.

<sup>c</sup> El valor varia depenent de la diferència entre els valors totals mesurats i els valors de so residual.

**Taula 6.** Valors de incertesa típica. **Font.** UNE-ISO 1996-2:2009 [4]

- **Instrumentació**, la instrumentació utilitzada deu complir un dels següents requisits:
  - instrument classe 1 segons s'especifica en la norma IEC 61672-1:2002 [20]
  - instrument classe 2 segons s'especifica en la norma IEC 61672-1:2002 [20]
- **Calibratge**, abans i després de cada mesura s'ha de calibrar el micròfon amb un calibrador acústic de classe 1, o en el cas de instruments de classe 2, un de classe 1 o 2, d'acord amb la norma IEC 60942:2003, per a comprovar el calibratge del sistema de mesura complet a una o més freqüències.
- **Procediment en la mesura**, en aquest apartat venen determinants els diferents procediments a seguir per a realitzar les mesures del soroll complint la normativa i que es duren a terme al nostre treball.

#### 2.4.- Teoria del càlcul de reducció del soroll

En aquest apartat s'especificaran els diferents mètodes de càlcul que es duren a terme amb l'objectiu d'intentar reduir el nivell de soroll a les aules i per tant, baixar la contaminació acústica existent.

Com s'ha comentat en l'apartat 2.1, l'estudi realitzat és un estudi sobre uns recintes d'interior, és a dir, un recinte tancat com són les aules de l'institut i per tant estem parlant d'un camp confinat. En un camp confinat el nivell sonor total és la superposició del camp directe (LPD) i el reverberant (LPR) com ja s'ha pogut veure.

Resulta molt complicat actuar sobre el camp directe, ja que aquest ve determinant principalment pel soroll realitzat i provocat pels alumnes i aquest és difícilment modificable, però si que es pot realitzar una millora en aquets sentit que consistirà en reduir el nombre d'alumnes a les aules i comprovar si els resultats són factibles.

Però com que és una mesura complicada, aquest estudi es centrarà en millorar el camp reverberant, ja que és una opció molt més senzilla de treballar i modificar, aquesta opció està dintre de les possibilitats del centre, ja que el nombre d'alumnes ve determinat per conselleria i el centre no pot modificar aquest paràmetre.

Quan es parla de camp reverberant es parla dels sons que arriben després de múltiples reflexions del so directe, per tant s'estudiarà la manera de reduir aquestes reflexions.

Mirant la fórmula que determina el camp reverberant, la manera de millorar aquest camp és actuar sobre l'absorció del recinte (**A**), ja que sobre el nivell incident (**L<sub>w</sub>**) com s'ha dit abans és més complicat actuar.

$$LPR = Lw - 10\log A + 6 \text{ dB}$$

Per treballar sobre l'absorció del recinte s'ha de conèixer la seva definició i valorar com actuar per poder modificar-la, com ja s'ha indicat anteriorment al punt 2.1 d'aquest treball, l'absorció es pot definir com:

$$A = \alpha \cdot St$$

Per tant una vegada obtinguda l'absorció total del recinte segon les estimacions dels coeficients dels elements constructius que es poden obtenir del codi tècnic de l'edificació (CTE) [21], i sabent la superfície de les aules podrem aconseguir millorar les condicions de contaminació acústica en les aules augmentant aquets valor amb nous materials o elements decoratius.

Al augmentar el nivell d'absorció **A**, baixarà el nivell de camp reverberant **LPR**, ja que com s'observa a la fórmula, l'absorció resta nivell al camp incident i per tant a major nivell d'absorció menor nivell de pressió sonora total.

La manera d'aconseguir una millora de les condicions o reducció del soroll per tant seria o bé reduint el nombre d'alumnes o jugant amb l'absorció acústica de l'aula, canviant els elements constructius o afegint d'altres que tinguin un coeficients d'absorció més elevat, de manera que la millora aconseguida vindrà determinada per la funció:

$$\text{Millora} = 10 \log A/A_0 = 10 \log \alpha/\alpha_0 = 10 \log n_0/n_f$$

Aquesta fórmula neix d'adaptar les fórmules del punt 2.1 per a la realització del TFG.

on;

- $A$ , és l'absorció final
- $A_0$ , és l'absorció inicial
- $\alpha$ , coeficient d'absorció dels elements constructius final
- $\alpha_0$ , coeficient d'absorció dels elements constructius inicial.
- $n_0$ , és el nombre d'alumnes inicial a les aules.
- $n_f$ , és el nombre finals d'alumnes a les aules.

### 3.- ANÀLISIS EXPERIMENTAL

#### 3.1.- Instrumentació

Per al desenvolupament del treball final de grau s'ha utilitzat com a instrumentació un sonòmetre integrador classe 1 (segons la normativa vista a l'apartat 2.3 "Normes de mesura" indicades en la UNE-ISO 1996-2:2009 [4]) de la marca **Bruel & Kjaer** (B&K) **model 2250** [22].

Aquest sonòmetre, és un sonòmetre de quarta generació, que permet realitzar mesures d'alta precisió combinant diferents mòduls de software i hardware, encara que ha estat específicament desenvolupat per a la mesura de soroll en el treball, soroll ambiental i de màquines i compleix amb totes les normes nacionals i internacionals.

Té un software molt intuïtiu i és fàcilment manejable gràcies a la seva pantalla tàctil. Els sonòmetres venen amb un programa d'anàlisi de so que permet mesurar simultàniament tots els paràmetres en un rang dinàmic de 120dB. A més a més com he dit anteriorment es pot combinar amb alguns altres softwares com per exemple programes d'anàlisi de freqüència podent mesurar així espectres de 1/1 i/o 1/3 de octava.

Una vegada en el lloc de treball els resultats es bolquen fàcilment a l'ordinador per poder treballar amb ells.

Components del sonòmetre B&K 2250 [22]:

- **1 Micròfon de mesura**, el sistema utilitza un micròfon de camp lliure pre-polaritzat de 1/2 polzada de Bruel & Kjaer. Es tracta d'un micròfon resistent i fiable amb un ampli espectre de freqüències.
- **2 Preamplificador**, s'utilitza per a transformar el senyal de sortida d'alta impedància del micròfon en un senyal de baixa impedància, apta per a estendre cables de gran longitud.
- **Botonera**,
  - **3 Botó de successos**, permet a l'usuari marcar successos manualment durant la mesura.
  - **4 Botó de comentaris**, permet afegir gravacions sonores als arxius de mesura
  - **5 Botons de navegació**, permeten desplaçar el component actiu de la pantalla i navegar per la pantalla d'usuari
  - **6 Botó de esborrat cap enrere**, permet esborrar els últims 5 segons de dades de mesura.
  - **7 Botó d'acceptar**, permet aplicar qualsevol canvi realitzat en la configuració del instrument.
  - **8 Boto de reinici de mesures**, permet esborrar la mesura actual de la pantalla.
  - **9 Botó de inici/ pausa**, permet iniciar una mesura, realitzar una pausa i continuar la mesura
  - **10 Indicador d'estat**, són llums LED de color verd, groc i vermell, que indiquen l'estat de la mesura.
  - **11 Botó de guardar**, permet guardar els resultats de la mesura.

- **12 Pantalla de visualització**, és una pantalla tàctil i en color d'alt contrast.
- **13 Icona del menú principal**, permet activar el menú principal des del qual es pot navegar directament per totes les funcions del instrument.
- **14 Botó d'encès/apagat**, permet engegar i apagar l'aparell. Si es manté posat un segon el instrument es queda en mode d'espera, i si es manté polsat més de 4 segons l'aparell s'apaga.
- **15 Punter**, guardat a un compartiment lateral del instrument serveix per puntejar o teclejar sobre la pantalla tàctil.
- **16 Micròfon secundari**, s'utilitza per afegir comentaris gravats sobre les mesures i es troba en la part inferior de l'instrument.
- **17 Presa de connexió superior**, és el lloc de connexió del micròfon principal
- **18 Rosca de muntatge del tríode**, és el lloc on es munta el tríode per deixar el sonòmetre fix a una certa altura.
- **19 Rosca de muntatge de la corretja/tríode**, utilitzat per situar la corretja de seguretat del 2250.
- **20 Bloc de bateria intern**, és un bloc de bateries recarregables de gran capacitat, de ió liti.
- **21 Tapa amb frontissa**, és una tapa amb frontissa que s'utilitza per protegir el panell de les connexions.



**Figura 5.** Imatge del sonòmetre B&K 2250. **Font.** Manual d'usuari sonòmetre B&K 2250 [22]

### 3.2.- Mesures de soroll realitzades sense i amb alumnes

Com s'ha enunciat a la introducció del treball, l'elecció de les aules a estudi en aquest treball final de grau s'han escollit en funció dels diferents nivells educatius, diferents ubicacions dintre de l'edifici, diferents tipus de classe i diferent nombre d'alumnes per classe per poder traure conclusions de com afecten aquets paràmetres als nivells de soroll, a banda de valorar si es compleix la normativa vigent.

Les aules escollides són l'aula de 1 d'ESO per la seva ubicació llunyana al patí i pel seu alumnat, un alumnat que és el seu primer any al centre i el més jove de l'institut, l'aula de segon d'ESO, per tenir una ubicació oposada a la de primer i ser un alumnat un curs més major, la de 2 de Batxillerat per ser l'alumnat més major del centre i teòricament més silenciosos i respectuosos i el gimnàs per ser un recinte completament diferent en quant a dimensions i tipus d'activitat que es realitza.

Una vegada escollides les aules i nivells educatius que es sotmetrien a l'estudi del nivell de soroll es passaren a realitzar els càlculs in situ.

Primerament és varen calcular els nivells de soroll de fons sense alumnes a les aules i posteriorment es registraren els valors o nivells de soroll a les mateixes aules amb una activitat lectiva normal amb els alumnes a les classes.

Per a dur a terme l'estudi es va escollir únicament un punt de referència en cadascuna de les aules, es va decidir que aquest punt fos un lloc significatiu per a l'estudi del nivell de soroll rebut pel professorat i per tant es va escollir un lloc situat entre la taula del professorat i la pissarra que és el lloc de treball del professor o lloc on passa la major part del temps durant una classe, sempre respectant les distàncies mínimes respecte a parets i possibles llocs de reflexió segons el que ve marcat a les normes UNE-ISO 1996-1:2005 [3] i UNE-ISO 1996-2:2009 [4].

Per a cada punt de mesura, es decidiren enregistrar 3 lectures dels nivells de  $L_{A,eq}$  (nivell de soroll equivalent en ponderació A) i també el nivell  $L_{C,peak}$  (nivell de soroll màxim o de pic en ponderació C), obtenint per a cada aula un nivell resultat de la mitjana dels tres resultats. A més a més cadascuna de les 3 lectures esta registrada amb un temps de duració de 3 minuts, temps més que suficient per obtenir uns valors representatius. Aquest procediment de mesura, s'adapta a les normes UNE-ISO 1996-1:2005 [3] i UNE-ISO 1996-2:2009 [4].

Cal destacar que l'institut esta dintre d'un entorn tranquil, una zona de nova construcció, poc urbanitzada on no hi ha cap fàbrica, ni carretera ni cap activitat que pugui ser d'especial menció al voltat i que pugui influenciar amb el nivell de so de immersió a les aules.



**Figura 6.** Vista aèria de la zona on es troba l'institut. **Font.** Google maps. Elaboració pròpia.

La distribució de l'institut és la que apareix a l'esquema següent, on la lletra A indica que aquell espai és una aula. Es tracta d'una construcció de dues altures, idèntiques on es poden trobar les diferents aules, despatxos distribuïts per departaments, aules d'estudi, etc. A més a més d'un gran gimnàs i pati.



**Figura 7.** Plànol de la distribució de l'institut. **Font.** Elaboració pròpia.



L'institut té dues entrades, l'entrada principal per on entra el professorat i la resta de personal del centre (secretaria, direcció, ajudants, etc) i l'entrada de l'alumnat. Com es pot observar en la figura 7, a la part més exterior del centre, la part que dona al carrer principal esta destinada a despatxos de direcció, secretaria, biblioteca i aula de dibuix, aquesta ala del centre sols és d'una altura. Ja en un segon passadís trobem els aularis a dues bandes del passadís, aquesta part és exactament igual a la part superior (té dues altures).

## **MESURES DE SOROLL SENSE ALUMNES**

### ▪ **AULA 1r d'ESO**

L'aula de 1r d'ESO es troba ubicada en la planta baixa de l'institut, més propera a la sala de professors i a la banda contraria del pati. Les mesures es realitzaren en l'aula marcada com a A1 en la figura 7. Les finestres d'aquesta aula donen a un pati interior que separa el despatx de direcció i l'aula en qüestió.

|                 | <b><math>L_{A,eq}</math> dB(A)</b> | <b><math>L_{c, peak}</math> dB(C)</b> |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Mesura 1</b> | <b>35</b>                          | <b>84</b>                             |
| <b>Mesura 2</b> | <b>35</b>                          | <b>88</b>                             |
| <b>Mesura 3</b> | <b>32</b>                          | <b>74</b>                             |
| <b>RESULTAT</b> | <b>34</b>                          | <b>82</b>                             |

Taula 7. Resultats mesures soroll de fons a l'aula 1 d'ESO



Figura 7. Realització de les mesures soroll de fons a l'aula 1 d'ESO

- **AULA 2n d'ESO**

L'aula de 2n d'ESO es troba ubicada en la planta baixa de l'institut, i amb les finestres orientades a la zona d'accés d'alumnes i al pati. Les mesures es realitzaren en l'aula marcada com a A6 en la figura 7 d'aquest document.

|                 | <b><math>L_{A,eq}</math> dB(A)</b> | <b><math>L_{C, peak}</math> dB(C)</b> |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Mesura 1</b> | <b>36</b>                          | <b>76</b>                             |
| <b>Mesura 2</b> | <b>32</b>                          | <b>76</b>                             |
| <b>Mesura 3</b> | <b>38</b>                          | <b>76</b>                             |
| <b>RESULTAT</b> | <b>34</b>                          | <b>76</b>                             |

Taula 8. Resultats mesures soroll de fons a l'aula 2 d'ESO

- **AULA 2n de Batxillerat**

L'aula de 2n de Batxillerat es troba ubicada en la primera planta de l'institut, a l'altra banda del pati i orientada cap al carrer principal o entrada principal, com que l'edifici que té al davant on es troba la biblioteca és d'una sola altura aquesta aula té visió directa al carrer principal. Les mesures es realitzaren en l'aula de la planta superior a l'aula marcada en la figura 7 com a A9.

|                 | <b><math>L_{A,eq}</math> dB(A)</b> | <b><math>L_{C, peak}</math> dB(C)</b> |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Mesura 1</b> | <b>33</b>                          | <b>74</b>                             |
| <b>Mesura 2</b> | <b>33</b>                          | <b>74</b>                             |
| <b>Mesura 3</b> | <b>33</b>                          | <b>74</b>                             |
| <b>RESULTAT</b> | <b>33</b>                          | <b>74</b>                             |

Taula 9. Resultats mesures soroll de fons a l'aula de 2 de Batxillerat



Figura 8. Realització de les mesures soroll de fons a l'aula de 2 de Batxillerat

## ▪ Gimnàs

El gimnàs es troba ubicat fora de l'edifici dedicat a aularis, en la zona conjunta al pati i a la zona d'accés dels alumnes a l'institut. Les mesures es realitzaren en l'aula marcada com a gimnàs en la figura 7 d'aquest document.

|                 | $L_{A,eq}$ dB(A) | $L_{C, peak}$ dB(C) |
|-----------------|------------------|---------------------|
| <b>Mesura 1</b> | <b>37</b>        | <b>75</b>           |
| <b>Mesura 2</b> | <b>33</b>        | <b>65</b>           |
| <b>Mesura 3</b> | <b>34</b>        | <b>69</b>           |
| <b>RESULTAT</b> | <b>35</b>        | <b>70</b>           |

Taula 10. Resultats mesures soroll de fons al gimnàs.



Figura 9. Realització de les mesures soroll de fons al gimnàs.

És de destacar que durant la realització de les mesures de soroll de fons no hi havia alumnat a les classe sotmeses a estudi, s'aprofitaven les hores en les quals els alumnes marxaven a classes específiques per fer les mesures en les aules buides, però, si que hi havia activitat al centre, és a dir, alumnes al pati, als passadissos, a les classes contigües, etc. cosa que pot augmentar una mica el nivell de fons respecte al que existiria a l'aula en completa inactivitat del centre.

Segons la normativa, les mesures han de realitzar-se amb nombres exactes, no amb decimal, cosa que pot variar les mitjanes totals i pujar o baixar un decibel en funció de les dècimes, per exemple, els resultats amb decimal dels nivells de fons exactes al gimnàs foren **32.77**, **36.6** i **34**, que si fem la mitjana aritmètica ens dona un valor de 34.45 i per tant arrodonint serien 34 dB, un decibel menys del que ens ha donat amb nombre enters.

## MESURES DE SOROLL AMB ALUMNES

Una vegada obtinguts els resultats de soroll de fons es va procedir a mesurar els valors de soroll a les mateixes aules amb una activitat lectiva normal i amb alumnes a classe per valorar el nivell d'exposició al soroll al que estan sotmesos els professors al seu lloc de treball ja que és la finalitat d'aquest estudi.

### ▪ AULA 1r d'ESO

L'alumnat de primer d'ESO és un alumnat nou al centre, ja que és el seu primer any a secundària, amb una edat mitjana de 12 anys.

Les mesures es realitzaren el dia 8 d'abril del 2015 a quarta hora del matí, és a dir entre les 12:00 i les 13:00 hores i a l'aula hi havia un total de 29 alumnes.

|                 | $L_{A,eq}$ dB(A) | $L_{c, peak}$ dB(C) |
|-----------------|------------------|---------------------|
| <b>Mesura 1</b> | <b>76</b>        | <b>101</b>          |
| <b>Mesura 2</b> | <b>76</b>        | <b>102</b>          |
| <b>Mesura 3</b> | <b>76</b>        | <b>101</b>          |
| <b>RESULTAT</b> | <b>76</b>        | <b>101</b>          |

Taula 11. Resultats mesures soroll a l'aula de 1er d'ESO



Figura 10. Realització de les mesures soroll de a l'aula 1 d'ESO

### ▪ AULA 2n d'ESO

L'alumnat de segon d'ESO és un alumnat que ja du un any al centre, és un alumnat un any més major amb una mitjana d'edat de 13 anys.

Les mesures es realitzaren també el dia 8 d'abril de 2015 a quarta hora, és a dir, després d'haver realitzat les anteriors. El dia que es realitzaren les mesures a l'aula hi havia un total de 18 alumnes, molt poc comparat amb la ràtio que estableix un valor de 31-34 alumnes per aula però es tractava d'una classe optativa i es varen

aprofitar les mesures en aquest aula per veure si realment hi havia efectes sobre el nivell de soroll amb el nombre d'alumnes com s'ha comentat a la introducció.

|                 | $L_{A,eq}$ dB(A) | $L_{c, peak}$ dB(C) |
|-----------------|------------------|---------------------|
| <b>Mesura 1</b> | <b>69</b>        | <b>94</b>           |
| <b>Mesura 2</b> | <b>69</b>        | <b>95</b>           |
| <b>Mesura 3</b> | <b>70</b>        | <b>96</b>           |
| <b>RESULTAT</b> | <b>69</b>        | <b>95</b>           |

Taula 12. Resultats mesures soroll a l'aula de 2n d'ESO



Figura 11. Realització de les mesures soroll a l'aula 2n d'ESO

#### ▪ AULA 2n de Batxillerat

L'alumnat de segon de Batxillerat és l'alumnat més major del centre, cursant el seu últim curs a l'institut i sobretot es tracta d'un alumnat que no assisteix al centre de manera obligada sinó que ho fa de manera voluntària per poder accedir a una carrera universitària, un cicle superior o simplement per obtenir el títol pertinent. És un alumnat amb una mitjana d'edat de 17-18 anys.

Les mesures es realitzaren el dia 10 d'abril de 2015 a quarta hora, és a dir, de 12 a 13h. El nombre d'alumnes a la classe era de 18 ja que en batxillerat hi ha moltes assignatures que són optatives depenent del tipus de batxillerat que es cursa (Tecnològic, biològic, humanístic, etc) i no es va poder mesurar amb el grup sencer per incompatibilitat horària.

|                 | $L_{A,eq}$ dB(A) | $L_{c, peak}$ dB(C) |
|-----------------|------------------|---------------------|
| <b>Mesura 1</b> | <b>64</b>        | <b>91</b>           |
| <b>Mesura 2</b> | <b>66</b>        | <b>99</b>           |
| <b>Mesura 3</b> | <b>62</b>        | <b>94</b>           |
| <b>RESULTAT</b> | <b>64</b>        | <b>95</b>           |

Taula 13. Resultats mesures soroll a l'aula de 2n de Batxillerat



Figura 12. Realització de les mesures de soroll a l'aula de 2 de Batxillerat.

▪ **Gimnàs**

Les mesures de soroll amb alumnes a l'aula de gimnàs es realitzaren amb un alumnat de segon d'ESO, per tenir un petit símil de comparació entre alumnat del mateix curs però a diferents activitats lectives i diferent aula, encara que en aquest cas el nombre d'alumnes era al voltant dels 30 i per tant el símil amb el mateix alumnat però a diferent tipus d'activitat tampoc és pot establir d'una manera rígida.

Les mesures es realitzaren el dia 10 d'abril del 2015 a segona hora, és a dir, de 9:30 a 10:30h.

|                 | <b><math>L_{A,eq}</math> dB(A)</b> | <b><math>L_{c, peak}</math> dB(C)</b> |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Mesura 1</b> | <b>77</b>                          | <b>102</b>                            |
| <b>Mesura 2</b> | <b>76</b>                          | <b>103</b>                            |
| <b>Mesura 3</b> | <b>77</b>                          | <b>102</b>                            |
| <b>RESULTAT</b> | <b>77</b>                          | <b>102</b>                            |

Taula 14. Resultats mesures soroll del gimnàs



Figura 13. Realització de les mesures de soroll al gimnàs.

### 3.3.- Diagnòstic actual de les aules

Una vegada acabades i registrades les mesures de soroll de fons i de soroll a l'aula amb una activitat normal del centre, es calcularan les incerteses en la mesura per posteriorment poder traure unes primeres conclusions sobre l'estat de les aules de l'institut Marta Mata en relació als nivells de soroll que s'han optés.

Segons la norma UNE-ISO 1996-2:2009 [4], i tal i com s'ha expressat a la taula 6 d'aquest document, la incertesa de mesura expandida serà igual a:

$$\pm 2,0 \sigma_t$$

I per a calcular  $\sigma_t$ , incertesa típica combinada tenim que:

$$\sigma_t = \sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$$

Sent,

- 1,0 els dB per al sonòmetre de classe 1
- X, degut a les condicions de funcionament
- Y, Degut al les condicions meteorològiques i del terreny,
- Z, degut al soroll residual.

Per tant, com que el sonòmetre utilitzat és de classe 1, el nivell de incertesa degut a la instrumentació serà d'1 dB segons la normativa. [4]

Els valors deguts a les condicions de funcionament i condicions meteorològiques són menyspreables ja que no influeixen en els càlculs d'aquest estudi ja que es tracta de tres mesures idèntiques, en el mateix equip i en un recinte d'interior que no es veu afectat per condicions meteorològiques ni del terreny.

Per últim, la incertesa degut al nivell de soroll residual la normativa diu que s'han de comparar les mesures de nivell de soroll rebut i les mesures de nivell de fons o soroll residual.

- Si la diferència entre aquestes esta entre 3 i 10 dB, s'ha de realitzar una correcció per soroll de fons segons la següent equació:

$$L_{corr} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{medida}}{10}} - 10^{\frac{L_{residual}}{10}} \right) dB$$

- Si la diferència entre el nivell de soroll rebut i el soroll de fons és inferior a 3 dB, les mesures no seran acceptables en un primer moment, un tècnic hauria de valorar els resultats.
- Si la diferencia entre els dos mesures és superior a 10 dB no s'haurà de realitzar cap correcció.

En aquest estudi els nivells fòren:

| AULA 1r ESO      |                |            |
|------------------|----------------|------------|
| Nivell de soroll | Nivell de fons | Diferència |
| 76               | 34             | >10        |

| AULA 2n ESO      |                |            |
|------------------|----------------|------------|
| Nivell de soroll | Nivell de fons | Diferència |
| 69               | 34             | >10        |

| AULA 2n Batxillerat |                |            |
|---------------------|----------------|------------|
| Nivell de soroll    | Nivell de fons | Diferència |
| 64                  | 33             | >10        |

| Gimnàs           |                |            |
|------------------|----------------|------------|
| Nivell de soroll | Nivell de fons | Diferència |
| 77               | 35             | >10        |

Taula 16. Diferència de nivells entre nivell de soroll i nivell de fons. Font. Pròpia.

Per tant totes les mesures realitzades al treball final de grau tenen una diferència de nivells entre el nivell rebut i el nivell de fons major a 10 dB, per la qual cosa no s'ha de realitzar cap correcció referent a aquest apartat.

Finalment la incertesa típica combinada serà d'un nivell de  $\sigma_f = \sqrt{1,0^2}$  és a dir, un valor de **1,0**. I per tant la incertesa de mesura expandida  $\pm 2,0 \sigma_f$  és igual a un valor de  $\pm 2$  dB

Per tant el professorat que treballa a les aules on s'ha realitzat l'estudi reben un nivell d'exposició que és el calculat a l'apartat anterior i tots ells amb una incertesa expandida de  $\pm 2$  dB.

### **CONCLUSIONS DE LES MESURES**

Una vegada obtinguda la incertesa en la mesura es poden traure conclusions sobre els resultats obtinguts de nivell de fons i de nivell de soroll comparats amb la normativa existent i la qual s'ha de complir.

Tant el **Reial Decret 1367/2007 [15]**, com la **ordenança municipal de Salou [1]**, determinen un nivell màxim de valor de fons a les aules no superior a **40 dB** com es pot observar a la taula 3 i figura 4 d'aquest document. Segons els nivells obtinguts a les nostres mesures a les aules i que es reflecteixen a l'apartat anterior i a la taula següent, cap de les mesures supera aquest valor de 40 dB, enregistrant com a valor més elevat el de 35 dB al gimnàs.



| AULA          | NIVELL $L_{A,eq}$<br>dB(A) | NIVELL $L_{C, peak}$<br>dB(C) |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1 ESO         | 34                         | 82                            |
| 2 ESO         | 34                         | 76                            |
| 2 Batxillerat | 33                         | 74                            |
| Gimnàs        | 35                         | 70                            |

Taula 17. Resum nivells de fons a les aules.

Per tant es pot dir que les aules de l'institut Marta Mata de Salou compleixen la normativa en quant a soroll de fons a les seves aules.

Pel que fa a l'exposició al soroll el **RD 286/2006** sobre **la protecció de la salut i la seguretat dels treballador contra els riscos relacionats amb l'exposició al soroll** [5], marca com a **nivell màxim** d'exposició al soroll un valor de **80 dB(A)** (dades taula 4 d'aquest document), i valor màxim de pico de **140 dB(C)**. D'altra banda l'**organització mundial de la salut (OMS)**[2] recomana que aquest nivell no sigui superior a 65 dB(A).

Els valors enregistrats a les aules han estat en tots els casos inferiors als 80 dB(A) i als 140 dB(C) de nivell de pic o nivell màxim que marca el RD 286/2006 [5], però han estat superiors en 3 dels 4 casos al nivell recomanats per l'**OMS** [2].

| AULA          | NIVELL $L_{A,eq}$<br>dB(A) | NIVELL $L_{C, peak}$<br>dB(C) |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1 ESO         | 76                         | 101                           |
| 2 ESO         | 69                         | 95                            |
| 2 Batxillerat | 64                         | 95                            |
| Gimnàs        | 77                         | 102                           |

Taula 18. Resum nivells de soroll a les aules.

Com que és compleix la normativa no serà necessari prendre mesures **obligatòries** per a reduir els nivells de soroll actuals a les aules de l'institut Marta Mata, però sempre és recomanable dintre del possible reduir al màxim aquets nivells i tenir unes millors condicions de soroll.

En aquest cas no és supera el límit establert per la normativa però si que es supera els nivell de soroll recomanats per l'**OMS** [2] per la qual cosa a continuació es realitzaran una sèrie de propostes amb la intenció d'intentar reduir el soroll a les aules i veure si es possible estar dintre dels nivells marcats per l'**OMS** [2], seguint el mètode que s'ha comentat a l'apartat 2.4 d'aquest treball final de grau de càlcul de reducció del soroll.

## 4.- PROPOSTES DE REDUCCIÓ DEL SOROLL

### 4.1.- Elecció dels materials

Una de les formes més directes i senzilles de reduir els nivells de soroll i per tant també el temps de reverberació a un camp confinat com és el cas, és actuar sobre els materials constructius o decoratius de l'aula, afegint o canviant part d'aquets amb l'objectiu, com ja s'ha explicat al punt 2.4, de modificar el camp reverberant augmentant l'absorció i per tant reduint el nivell de so rebut degut a les reflexions produïdes dintre de l'aula.

Com que l'edifici ja esta construït no podem modificar els forjats ni altres parts de l'obra que serien inviables a més de molt costoses però si que podem actuar sobre els acabats d'interiors, sostres i terra podent modificar i canviar els existents per altres més absorbents.

Al codi tècnic de l'edificació (CTE) venen marcats a una taula els coeficients d'absorció dels materials constructius d'acabats d'interior [21] i són els següents.

| Acabados de interiores paredes, techos y suelos |          |         |         |            |
|---|----------|---------|---------|------------|
| Tipo  | HR       |         |         | $\alpha_m$ |
|   | $\alpha$ |         |         |            |
|   | 500 Hz   | 1000 Hz | 2000 Hz |            |
| Hormigón visto                                  | 0,03     | 0,04    | 0,04    | 0,04       |
| Hormigón pintado                                | 0,06     | 0,07    | 0,09    | 0,07       |
| Bloque de hormigón visto                        | 0,05     | 0,08    | 0,14    | 0,09       |
| Bloque de hormigón pintado                      | 0,08     | 0,09    | 0,10    | 0,09       |
| Ladrillo cerámico vistos                        | 0,03     | 0,04    | 0,05    | 0,04       |
| Ladrillo cerámico pintados                      | 0,02     | 0,02    | 0,02    | 0,02       |
| Enfoscado de mortero                            | 0,06     | 0,08    | 0,04    | 0,06       |
| Enlucido de yeso                                | 0,01     | 0,01    | 0,02    | 0,01       |
| Placa de yeso laminado                          | 0,05     | 0,09    | 0,07    | 0,06       |
| Placas de escayola                              | 0,04     | 0,05    | 0,05    | 0,05       |
| Piedra  | 0,01     | 0,02    | 0,02    | 0,02       |
| Madera y paneles de madera                      | 0,08     | 0,08    | 0,08    | 0,08       |
| Parquet   | 0,04     | 0,05    | 0,05    | 0,05       |
| Tarima  | 0,08     | 0,09    | 0,10    | 0,09       |
| Tarima sobre rastreles                          | 0,06     | 0,05    | 0,05    | 0,05       |
| Corcho  | 0,08     | 0,19    | 0,21    | 0,16       |
| Metales   | 0,01     | 0,02    | 0,02    | 0,02       |
| Revestimientos textiles                         | 0,09     | 0,14    | 0,29    | 0,17       |
| Moqueta, espesor $\leq$ 10 mm                   | 0,06     | 0,15    | 0,30    | 0,17       |
| Moqueta, espesor $\geq$ 10 mm                   | 0,15     | 0,30    | 0,45    | 0,30       |
| PVC   | 0,04     | 0,05    | 0,05    | 0,05       |
| Linóleo   | 0,03     | 0,03    | 0,04    | 0,03       |
| Caucho  | 0,04     | 0,04    | 0,02    | 0,03       |
| Terrazo   | 0,01     | 0,02    | 0,02    | 0,02       |
| Baldosas, plaquetas.                            | 0,01     | 0,02    | 0,02    | 0,02       |
| Vidrio  | 0,05     | 0,04    | 0,03    | 0,04       |

Figura 14. Coeficients d'absorció dels materials constructius. Font. CTE [21]

Les aules de l'institut Marta Mata a l'estat actual estan acabades amb formigó vist (0,04), fusta i panells de fusta (0,08), vidre (0,04), plaques suro (0,16) cosa que en l'estat actual ens dona més o menys un coeficient d'absorció total de **0,32** aproximadament.

És de destacar, que les aules avui en dia ja tenen un bon coeficient d'absorció ja que tenen gran part de les parets recobertes amb fusta, una gran placa de suro sobre la paret que serveix per penjar fulls, treballs, horaris, etc. i al mateix temps ens serveix de material absorbent.

Es per això, que els nivells de soroll de fons i nivell de soroll rebut estan dintre del que marca la normativa, perquè a l'hora de construir el centre s'ha tingut en conter utilitzar materials que siguin més absorbents a les aules.

En la fotografia següent es poden observar els materials i acabats que tenen actualment les aules.



Figura 15. Aula. Materials i acabats



Figura 16. Aula. Materials i acabats

Amb la intenció de millorar en la mesura del possible els nivells de soroll i veient els valors dels coeficients d'absorció dels materials i sense necessitat de realitzar cap obra el que es podria fer seria afegir **cortines "tèxtil"** a les finestres de manera que el coeficient d'absorció augmentaria aproximadament segons la taula anterior [figura 14] amb un valor de (0,17).

Actualment existeixen també unes cortines acústiques (dissenyades precisament pels tutors d'aquest projecte Jesús Alba i Romina M<sup>a</sup> del Rey junt amb Vicente Sanchis) que protegeixen a més a més del foc, el calor i les radiacions electromagnètiques i tenen un coeficient d'absorció molt alt reduint pràcticament la contaminació acústica i electromagnètica de l'aula.

Per últim també es podria dur a terme un condicionament però que requereix obra, consistent en condicionar el sostre amb alguns materials com es detalla a la taula següent.

| TECHOS PARA ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO |   |  |  |  |  |  |
|--|---|--|--|--|--|--|
| SR                                     | forjado u otro soporte resistente               |  |  |  |  |  |
| TS                                     | techo suspendido                                |  |  |  |  |  |
| C                                      | cámara de aire de espesor mayor que 150 mm      |  |  |  |  |  |
| AA                                     | material absorbente acústico                    |  |  |  |  |  |
| MW                                     | lana mineral o fibras sintéticas <sup>(1)</sup> |  |  |  |  |  |
| V                                      | velo de fibras <sup>(2)</sup>                   |  |  |  |  |  |
| RI                                     | revestimiento interior                          |  |  |  |  |  |
| YL                                     | placa de yeso laminado                          |  |  |  |  |  |
| CM                                     | panel metálico                                  |  |  |  |  |  |
| PMW                                    | panel aglomerado de lana mineral                |  |  |  |  |  |
| PA                                     | panel aglomerado de fibras de madera            |  |  |  |  |  |
| p                                      | porcentaje de perforación, (%).                 |  |  |  |  |  |

| Código | Sección | Revest interior RI | Porcentaje de perforación p | Material absorbente acústico AA | HE R <sub>TS</sub> (m <sup>2</sup> K/W) | HR α <sub>m</sub> |
|--------|---------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|---|-------------------|
| T04    |         | YL                 | 0                           | -                               | 0,22                                    | 0,06              |
|        |         |                    | 0<p<10                      | MW                              | 0,16+R <sub>AA</sub>                    | 0,45 - 0,60       |
|        |         |                    |                             | V                               |   | 0,45 - 0,60       |
|        |         |                    | 10≤p<20                     | MW                              |   | 0,45 - 0,70       |
|        |         |                    |                             | V                               |   | 0,45 - 0,70       |
|        |         |                    | ≥20                         | MW                              |   | 0,60-0,90         |
|        |         | V                  |                             | 0,60-0,70                       |   |                   |
|        |         | PES                | 0                           | -                               | 0,22                                    | 0,05              |
|        |         |                    | 0<p<10                      | MW                              | 0,16+R <sub>AA</sub>                    | 0,40 - 0,60       |
|        |         |                    |                             | V                               |   | 0,40              |
|        |         |                    | 10<p<20                     | MW                              |   | 0,60              |
|        |         |                    |                             | V                               |   | 0,60              |
| ≥20    | MW      |                    | 0,60-0,90                   |                                 |   |                   |
|        |         |                    |                             |                                 |   |                   |
| T05    |         | YL                 | -                           | MW                              | 0,06+R <sub>AA</sub>                    | 0,06              |
|        |         | PES                | -                           | MW                              | 0,06+R <sub>AA</sub>                    | 0,05              |
|        |         | PMW                | -                           | -                               | R <sub>PMW</sub>                        | 0,40 - 0,90       |
|        |         | PA                 | -                           | -                               | R <sub>PA</sub>                         | 0,40 - 0,70       |

Figura 17. Sostres per a condicionament acústic. Font. Catàleg d'elements constructius del CTE. [21]

Amb aquestes mesures de condicionament es podria estar parlant d'arribar a un coeficient d'absorció total de l'aula al voltant del 0,7 aproximadament o fins i tot una mica més.

## 4.2.- Càlculs de reducció

Per tal d'intentar millorar els nivells de soroll, encara que ja estan dintre dels valors que marca la normativa, es treballarà de la manera explicada a l'apartat 2.4 d'aquet treball i s'utilitzaran els valors de coeficient d'absorció calculats a l'apartat anterior.

Així doncs, es realitzaran els càlculs de reducció basant-se en dues millores, millora de les condicions a l'aula en quant a materials i per tant coeficient d'absorció, i sobre el nombre d'alumnes a les aules a més a més es veurà la diferència entre el temps de reverberació de l'aula actual i de l'aula amb un coeficient d'absorció millorat.

Tal i com s'ha expressat a l'apartat 2.4 la fórmula que ens determina el nivell de soroll a les aules, ja que es tracta d'un camp reverberant és la següent

$$LPR = Lw - 10\log A + 6 \text{ dB}$$

$$A = \alpha \cdot St$$

I d'on:

- $\alpha$ , coeficient d'absorció dels materials segons el catàleg d'elements constructius del codi tècnic d'edificació (CTE) [21]
- $St$ , superfície total de les aules.

En principi es parteix l'estudi en 4 aules, tres aules convencionals i el gimnàs. Les aules convencionals, són les aules on és donen les classes teòriques o generals, en aquest estudi són les aules de 1er i 2n d'ESO i 2n de Batxillerat. Aquestes tres aules tenen les mateixes dimensions i estan construïdes i acabades amb els mateixos materials.

En quant al gimnàs, els acabats són exactament iguals que a les aules convencionals, amb fusta, vidre, escaiola, etc. però les dimensions no són les mateixes, encara que, la millora de les condicions ve determinada per la fórmula "**Millora =  $10\log \alpha/\alpha_0$** " on el que ens importa a l'hora del càlcul és el coeficient d'absorció dels materials ja que, les dimensions de l'aula són les mateixes si canviem els materials o no per tant no són una informació rellevant al càlcul.

És per això que es calcularà la millora en quant als coeficients d'absorció dels materials per a totes les aules de manera general.

El que sí que canviarà respecte a les aules convencionals serà el temps de reverberació ja que el gimnàs té un volum molt més gran.

A l'apartat anterior s'ha vist que amb els materials de construcció i acabats actuals de les aules, existeix, segons la taula del CTE sobre els coeficients d'absorció dels materials [21], un valor aproximat de  **$\alpha=0,32$** .

Amb les millores proposades a l'apartat anterior en quant a elecció de materials s'ha aproximat que es podria aconseguir un coeficient d'absorció dels materials de l'aula del voltant de  **$\alpha=0,7$** .

Com que la millora ve determinada per la següent equació,

$$\text{Millora} = 10 \log A/A_0 = 10 \log \alpha/\alpha_0 = 10 \log n_0/n_f$$

Si l'apliquem als nostres valors de coeficient d'absorció s'obtidria una millora per valor de,

$$\text{Millora} = 10 \log 0,7/0,32 = 3,39 \text{ dB} = 3 \text{ dB (nombres enters)}$$

Amb la modificació dels materials i augmentant el coeficient d'absorció de l'aula podem arribar a obtenir una millora general de 3 dB per aula, que és un valor bastant considerable sobretot valorant que les aules ja presenten un bon nivell d'aïllament.

Una altra manera d'arribar al mateix resultat, aplicant la fórmula inicial del camp reverberant és la següent, si es sap que el camp reverberant ve determinat per;

$$\text{LPR} = L_w - 10 \log A + 6 \text{ dB}$$

Sabent que  $A = \alpha \cdot St$ , i em calculat que el coeficient d'absorció actual de l'aula és de  $\alpha=0,32$ , sols queda calcular la superfície total de l'aula per conèixer l'absorció d'aquesta.

Com que les aules tenen unes dimensions aproximades de 8 m d'amplada, per 12 m de llargada per 3 m d'alçada, la superfície total de les aules convencionals serà;

$$St = 2 \cdot (3 \cdot 8 + 3 \cdot 12 + 8 \cdot 12) = 312 \text{ m}$$

Per tant amb les condicions actuals de l'aula tenim un nivell d'absorció de,

$$A = 0,32 \cdot 312 = 99,84$$

que aplicant la fórmula del camp reverberant per conèixer la millora que suposarà aquest valor d'absorció serà;

$$"10 \log 99,84 = 20 \text{ dB}"$$

Per tant, si el coeficient d'absorció dels elements constructius amb els nous materials instal·lats a l'aula, aconseguix augmentar el coeficient d'absorció fins a un valor de  $\alpha=0,7$ , tal i com s'ha vist al punt anterior, obtindrem un valor final d'absorció de,

$$A = 0,7 \cdot 312 = 218,4$$

i aplicant la fórmula del camp reverberant aquest nou valor d'absorció reduirà el nivell incident en un total de,

$$"10 \log 218,4 = 23,39 \text{ dB}"$$

Sent per tant la diferència final, o el valor final de millora degut a l'absorció entre les condicions de l'aula actuals i les de l'aula amb millores de revestiments de:

$$23,38 - 19,99 = 3,39 = 3 \text{ dB}$$

**Aquets valors anteriors són “dB en que redueix el camp incident l'absorció millorada - dB en que redueix el camp incident l'absorció actual”**

Obtenint tal i com s'havia calculat inicialment una millora de 3dB degut a les millores d'absorció. **Una millora de 3 dB significa reduir a la meitat l'energia del soroll dins de la classe, degut al comportament del decibel.**

En el cas del càlcul per al gimnàs la millora és idèntica ja que s'ha suposat uns valors idèntics d'absorció i observant la fórmula, si el que modifiquem són els valors del coeficient d'absorció però la superfície del local es manté intacta la millora és idèntica a l'anterior.

Un altre valor a estudi era el temps de reverberació, normalment els càlculs de temps de reverberació es realitzen amb una font de soroll que emet polsos i es registren amb el sonòmetre aquets polsos per valorar el temps que romanen a l'aula i així calcular aquet temps de reverberació.

Durant l'estudi de la contaminació acústica a les aules no es disposava de font de soroll per tant la manera de mesurar el temps de reverberació serà mitjançant la fórmula estudiada al punt 2.1 d'aquest document,

$$t_R = \frac{0,16V}{A}$$

Ja s'ha vist que per a un aula com la nostra en que la funció principal és la veu parlada interessa que el temps de reverberació sigui el més petit possible.

El càlcul del temps de reverberació es realitzarà amb les dades del valor d'absorció que em determinat anteriorment tant per a les aules convencionals com per al gimnàs i es veu resumit al quadre següent:

### **AULES CONVENCIONALS**

Si el valor d'absorció en l'estat actual de les aules és de 99,84 i el volum de l'aula és igual a 288 m<sup>3</sup> ja que les dimensions d'aquesta són 8 m x 12 m x 3 m. El temps de reverberació actual de les aules és aproximadament,

$$T_r = \frac{0,16 \cdot 288}{99,84} = 0,46 \text{ s}$$

Si és millora el valor de l'absorció fins arribar a 218,4, tenint el mateix volum d'aula, s'aconseguirà un valor del temps de reverberació de,

$$T_r = \frac{0,16 \cdot 288}{218,4} = 0,21 \text{ s}$$

Amb les millores de l'absorció s'aconsegueix rebaixar 3 dB el soroll rebut i s'aconsegueix reduir a una mica més de la meitat el temps de reverberació, cosa que es podia deduir fàcilment ja que pràcticament em duplicat el valor d'absorció.

## GIMNÀS

El càlcul dut a terme a l'aula del gimnàs és exactament igual sols que canvia el volum de l'aula i el valor de l'absorció.

El coeficient d'absorció s'ha determinat que es manté el mateix que per a les aules convencionals ja que els acabats de les aules són iguals, per tant és realitzaran els càlculs per a uns valors del coeficient d'absorció actual de  $\alpha=0,32$  i un coeficient d'absorció millorat de  $\alpha=0,7$ .

Si les mesures del gimnàs són 60 m de llargada, 20 metres i 5 metres d'alçada els càlculs dels temps de reverberació seran els següents,

$$T_r = \frac{0,16 \cdot V}{S_t \cdot \alpha} = \frac{0,16 \cdot (50 \cdot 20 \cdot 5)}{0,32 \cdot 2 \cdot [(50 \cdot 20) + (50 \cdot 5) + (20 \cdot 5)]} = 0,92 \text{ s}$$

Amb les millores del coeficient d'absorció s'obtidria un temps de reverberació de,

$$T_r = \frac{0,16 \cdot V}{S_t \cdot \alpha} = \frac{0,16 \cdot (50 \cdot 20 \cdot 5)}{0,7 \cdot 2 \cdot [(50 \cdot 20) + (50 \cdot 5) + (20 \cdot 5)]} = 0,42 \text{ s}$$

Millorant també molt el valor de temps de reverberació i rebaixant pràcticament a la meitat aquest valor. Com era d'esperar segons l'equació del temps de reverberació, aquet havia de ser molt més gran al gimnàs ja què s'estava treballant amb els mateixos valors de coeficient d'absorció però el volum del gimnàs és molt superior.

A l'apartat 2.4 és va proposar també una millora **per reducció de nombre d'alumnes** el que es pretén és demostrar que amb una ràtio més petita, els nivells de soroll serien inferiors i per tant el nivell de contaminació a l'aula seria inferior.

De manera que si una aula convencional que actualment té una ràtio de 34 alumnes la reduirem a la meitat i la deixarem en 17 alumnes per classe, s'aconseguiria una millora de:

$$\text{Millora} = 10 \log n_0/n_f = 10 \log 34/17 = 10 \log 2 = 3 \text{ dB}$$

Però aquest càlcul és una mica orientatiu, a l'estudi s'ha pogut veure els càlculs reals de diferents aules amb diferent nombre d'alumnes i s'ha vist de manera indirecta la millora que representa la reducció d'alumnes a l'aula.

Com s'ha explicat durant el treball, a l'aula de 1r d'ESO durant les mesures hi havia un nombre de **29 alumnes** i s'ha mesurat un nivell de soroll de **76 dB(A)**, mentre que a l'aula de 2 d'ESO hi havia un total de **18 alumnes** ja què era una classe optativa que sol tenir menys alumnes i el nivell de so mesurat ha estat de **69 dB(A)**, també a l'aula de batxillerat hi havia un nombre reduït de **18 alumnes** i per últim les mesures realitzades al gimnàs es realitzaren durant una classe de segon d'ESO amb uns **29 alumnes**.



A la taula següent es veu un resum comparatiu del nivell de soroll mesurat i el nombre d'alumnes a l'aula en cadascuna de les mesures.

| <b>AULA</b>   | <b>Nombre d'alumnes durant les mesures</b> | <b>NIVELL <math>L_{A,eq}</math> dB(A)</b> |
|---------------|--|---|
| 1 ESO         | <b>29</b>                                  | <b>76</b>                                 |
| 2 ESO         | <b>18</b>                                  | <b>69</b>                                 |
| 2 Batxillerat | <b>18</b>                                  | <b>64</b>                                 |
| Gimnàs        | <b>29</b>                                  | <b>77</b>                                 |

**Taula 18.** Comparació nivells de soroll equivalent en dB(A) amb el nombre d'alumnes.

Existeix per tant una gran diferència, al voltant de **7 / 13 dB(A)** entre diferents nivells i nombre d'alumnes, però aquest és un càlcul orientatiu i no exacte, ja que, cap de les mesures següents és per a una mateixa classe amb més i menys alumnes sinó que es tracta de classes diferents i això pot afectar a l'estudi.

Per exemple l'alumnat de segon de Batxillerat és un alumnat com s'ha explicat anteriorment, que va al centre de manera optativa, amb uns objectius clars i amb una certa edat que de normal crida molt menys que els de primer, per tant un segon de batxillerat amb 30 alumnes també tindria uns nivells de soroll teòricament més baixos que a l'aula de primer o segon d'ESO.

A més a més es parla d'alumnes, nens en plena pubertat que poden tenir diferent estat d'ànim un dia respecte a l'altre, els nens no estan igual d'exaltats a primera hora que a última, alguns professors imposen més que altres i no tots els dies tenen el mateix comportament però l'estudi s'ha generalitzat i s'ha dut a terme intentant veure totes aquestes petites variacions.

#### **4.3.- Previsió final del soroll**

Després de les millores estudiades a l'apartat anterior es pot afirmar que existeixen diferents possibilitats de millora del soroll a les aules i que amb totes elles ens allunyem més encara dels nivells màxims marcats com a valors límit o màxims a la norma i lleis vigents i que abans de calcular aquestes millores, ja es complien les condicions marcades.

Tant els càlculs de millora del coeficient d'absorció amb la instal·lació de nous elements decoratius a les aules com ara cortines, recobriments de fusta, etc com als càlculs de millora realitzats en cas de reduir el nombre d'alumnes a la meitat del número actual, trobem una millora en tots dos casos de **3 dB**.

Una millora de 3 dB com s'ha comentat abans, representa reduir a la meitat l'energia del soroll dins de la classe, degut al comportament logarítmic del decibel, cosa que és molt important des del punt de vista del soroll.

És de destacar que aquesta millora del nivell de soroll per la millora dels coeficients d'absorció no és molt elevada, ja que les aules de l'institut Marta Mata presenten actualment un molt bon condicionament en quant a materials absorbents. Aquest estudi en un institut més antic, amb aules no tan ben condicionades, com és el cas

de molts dels centres d'educació secundària actuals, on no hi hagués revestiments de fusta, suro, etc a les aules, es podria estar parlat d'una millora molt més considerable i important.

Un aula convencional normal de qualsevol d'aquets centres pot tenir un coeficient d'absorció aproximadament de 0,1, si aquest s'aconsegueix millorar fins obtenir un coeficient del 0,5 afegint nous materials com ara revestiments de fusta, cortines, pintures, etc, cosa que és relativament senzilla la millora seria molt més considerable que al nostres cas.

$$\text{“Millora} = 10 \log 0,5/0,1 = 6,98 \text{ dB} = 7\text{dB”}$$

I possiblement seria obligat afegir aquestes millores perquè els nivells no estarien dintre del que marca la normativa.

Els valors finals que existirien a les aules amb les millores tant de l'absorció del recinte com de reducció de l'alumnat que rebaixen els valors actuals en 3dB(A).

| AULA          | Nivell de fons $L_{A,eq}$ dB(A) mesurats. | Nivell de soroll $L_{A,eq}$ dB(A) mesurats. | Nivell de fons $L_{A,eq}$ dB(A) amb les millores | Nivell de soroll $L_{A,eq}$ dB(A) amb les millores |
|---------------|---|---|--|--|
| 1 ESO         | 34  | 76  | 31   | 73   |
| 2 ESO         | 34  | 69  | 31   | 66   |
| 2 Batxillerat | 33  | 64  | 30   | 61   |
| Gimnàs        | 35  | 77  | 32   | 74   |

Taula 19. Valors modificats amb una millora de 3dB(A)

Per tant es pot veure clarament que els nivells de so de fons rebuts amb la millora de l'alumnat continuen, com era normal, estant dintre del que marca la normativa fins i tot allunyant-se molt més del seu màxim que es situa en 40 dB(A).

En quant als nivell de soroll s'aconsegueix baixar en 3 dB(A) els nivells però així i tot continuem situant-nos en tres dels casos per sobre del que recomana l'Organització Mundial de la Salut [2], que marcava un límit de 65dB però ens allunyem del nivell màxim marcat per l'ordenança municipal [1], la llei del soroll [14] i el Decret 286/2006 [5] situat en un valor de 80 dB.

## 5.- CONCLUSIONS

Una vegada realitzat l'estudi del nivell de soroll a les aules de l'institut Marta Mata de Salou, comprovats i comparats els valors amb els que dicten les lleis i normes de soroll vigents, es pot arribar a la conclusió de que les aules de l'institut estan ben aïllades acústicament ja que tant els nivells mesurats de fons com de nivell de soroll, excepte en el cas de la recomanació de la OMS [2], estan complint-se els indicador de qualitat acústica de les normes i ordenances citades.

L'institut té ara uns 10 anys d'antiguitat, per tant estem parlant d'un centre de recent construcció i per això les seves aules es troben ben aïllades i revestides amb materials absorbents, cosa que no fa necessària l'actuació de cap mena de reforma ni condicionament de manera obligada en matèria pertinent a soroll, però ha mode de millora s'han proposat una sèrie de millores que rebaixarien el nivell de soroll, aquestes a més a més, són unes millores que es poden realitzar de manera senzilla i sense haver de fer un gran esforç econòmic per part del centre.

En quant al tema que es plantejava a la introducció sobre si el nombre d'alumnes o la seva edat afectaria al nivell de soroll és pot concloure que aquets valors sí que tenen gran importància a l'hora del nivell de soroll que existeix dintre de l'aula.

Alumnes de 4rt d'ESO i Batxillerat son alumnes més majors, finalitzant una etapa i amb uns objectius més o menys clars, superant ja també pràcticament l'edat d'infantessa que poden tenir encara els alumnes de primer i segon i fins i tot de tercer. Per tant els nivells de soroll en aquestes aules sol ser bastant inferior als nivell de soroll que existeix a les aules de 1er, 2n i 3r d'ESO.

El nombre d'alumnes a l'aula també redueix en gran mesura els nivells de soroll registrats com s'ha pogut observar a l'estudi, encara que no es tractava dels mateixos nivells o cursos però si que es veu una clara diferència entre les mesures del soroll quan a l'aula hi ha 26/30 alumnes i quan hi ha 16/18.

Possiblement aquest treball s'ha centrat en valorar el nivell de soroll a les aules des del punt de vista del professorat i de les condicions de les aules però un treball futur es podria valorar millor aquesta relació entre l'edat de l'alumnat o el curs i el nivell de soroll així com el nombre d'alumnes fent les mesures d'un mateix nivell, per exemple mesurar i treure conclusions sobre la mesura a 1 d'ESO a una assignatura comuna amb 30 alumnes i al mateix grup de 1 d'ESO a una assignatura optativa amb menys alumnes, així com fer el càlcul del nivell de soroll per a tots els nivells de l'institut a una mateixa hora del matí i amb el mateix nombre d'alumnes per valorar d'una manera confirmada si realment l'edat i el nombre d'alumnes es veu influenciat amb el nivell de soroll.

En aquest treball no s'ha pogut valorar bé si el nivell o curs afecta amb el soroll ja que les mesures de 1er, 2n i 2n de Batxillerat s'han realitzat amb un nombre d'alumnes diferents per tema de incompatibilitats horàries i ja que la finalitat d'aquet no era buscar una comparació dels diferents nivells sinó un estudi general de les aules de l'institut.

## 6.- REFERÈNCIES

[1] Ordenança municipal de Soroll i Vibracions de Salou. Consultada des de 1 de febrer de 2015 a 31 d'agost de 2015.

[2] Organització Mundial de la Salut: Contaminació acústica i salut. [www.who.int/topics/noise/es](http://www.who.int/topics/noise/es). Consultada des de 1 de febrer de 2015 a 31 d'agost de 2015.

[3] UNE-ISO 1996-1:2005. Descripció, mesura i avaluació del soroll ambiental. Part 1: Magnituds bàsiques i mètodes d'avaluació

[4] UNE-ISO 1996-2:2009. Descripció, mesura i avaluació del soroll ambiental. Part 2: Determinació dels nivells de soroll ambiental.

[5] Reial Decret 286/2006 del 10 de Març, sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors contra els riscos relacionats amb l'exposició al soroll.

[6] Fernando Segué - Ministeri de Medi ambient - CEDEX. " Conceptes bàsics del soroll ambiental". <http://sicaweb.cedex.es/documentacion.php>. Consultada des de l'1 de febrer de 2015 a 31 d'agost de 2015.

[7] "Acústica bàsica", Borja Azpiroz, <http://escenografia.cl/acustica.htm#menu> Consultada des de 1 de febrer de 2015 a 31 d'agost de 2015.

[8] W.C. Sabine. "Collected papers on Acoustics". Dover Pub, New York (1664)

[9] AENOR (Associació Espanyola de Normalització i Certificació), <http://www.aenor.es/aenor/inicio/home/home.asp>.

[10] ISO (International Organization for Standardization), <http://www.iso.org/iso/home.html>

[11] UNE (Una norma Espanyola) conjunt de normes creades pel comitè tècnic de normalització (CTN).

[12] Llibre verd de la Unió Europea, de 1996, en la que es determina la política futura de lluita contra el soroll. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52001DC0366>

[13] Directiva 2003/10/CE, de 6 de febrer de 2003, sobre les disposicions mínimes de seguretat i salut relatives a la exposició dels treballadors als riscos derivats d'agents físics (soroll)

[14] LLEI 37/2003, de 17 de novembre, del Soroll. La finalitat d'aquesta llei és prevenir, vigilar i reduir la contaminació acústica, per evitar els danys que d'aquesta poden derivar-se.

[15] Reial Decret 1513/2005, de 16 de desembre, pel qual es desenvolupa la Llei 37/2003, de 17 de novembre, del Soroll, en referència a avaluació i gestió del soroll ambiental.

[16] Reial Decret 1367/2007, de 19 d'octubre, pel qual es desenvolupa la Llei 37/2003, de 17 de novembre, del Soroll, en allò referent a zonificació acústica, objectius de qualitat i emissions acústiques.

[17] Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica, aplicable a tot el territori de Catalunya.

[18] Decret 245/2005, de 8 de novembre, aquest Decret té per objecte establir els criteris per a l'elaboració dels mapes de capacitat acústica regulats a l'article 9 de la Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica de Catalunya.

[19] Decret 176/2009, de 10 de novembre, per la qual s'aprova el Reglament de la Llei 16/2002, de 28 de juny, a Catalunya i se n'adapten els annexos.

[20] UNE-EN 61672-1:2005, Electroacústica. Sonòmetres. Part 1. Especificacions.

[21] Catàleg d'elements constructius del codi tècnic de l'edificació (CTE)  
<http://www.codigotecnico.org/>

[22] Manual d'usuari sonòmetre Brüel-Kjaer 2250.  
[https://www.enginyersbcn.cat/media/upload/pdf/manual-2250-abcd-reve-be172011\\_editora\\_11\\_1\\_2.pdf](https://www.enginyersbcn.cat/media/upload/pdf/manual-2250-abcd-reve-be172011_editora_11_1_2.pdf)

## 7.- ANNEXOS

### 7.1.- ANNEX I

En aquest annex es detallaran totes les mesures emmagatzemades al sonòmetre durant la realització del treball final de grau.

#### AULA 1 ESO

| Project | Elapsed  | Name | Time | LAFTeq | LAFmax | LASmax | LAlmax | LCFmax | LCSmax | LCImax | LAFmin | LASmin | LAlmin | LCFmin |
|---------|----------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mesura1 | 00:03:00 |      |      | 83,61  | 89,47  | 84,22  | 91,5   | 89,85  | 84,5   | 91,55  | 47,81  | 58,03  | 61,79  | 51,53  |
| Mesura2 | 00:03:00 |      |      | 84,19  | 89,36  | 84,35  | 92,05  | 88,99  | 84,23  | 91,37  | 47,7   | 58,3   | 62,95  | 53,81  |
| Mesura3 | 00:03:00 |      |      | 83,93  | 89,39  | 83,14  | 92,1   | 88,5   | 83,19  | 91,14  | 46,23  | 54,25  | 58,72  | 54,65  |
| Fons 1  | 00:03:00 |      |      | 42,58  | 50,96  | 46,17  | 53,04  | 75,67  | 70,56  | 79,17  | 25,92  | 27,42  | 26,41  | 40,44  |
| Fons 2  | 00:03:00 |      |      | 41,53  | 52,54  | 48,73  | 54,17  | 81,41  | 76,12  | 84,52  | 25,55  | 26,61  | 26,32  | 40,07  |
| Fons 3  | 00:03:00 |      |      | 40,92  | 54,09  | 46,66  | 57,74  | 67,71  | 64,09  | 68,39  | 26,73  | 27,91  | 28,1   | 44,83  |

| LCSmin | LCImin | LCpeak | LAeq  | LCeq  | LAeq  | Lep,d | Lep,d,v | LCeq  | LAE   | LCE   | LAlaq- | LCeq- |
|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 62,34  | 64,45  | 100,92 | 82,2  | 82,72 | 76,25 | 75,97 | 75,97   | 77,14 | 98,8  | 99,69 | 5,95   | 0,89  |
| 62     | 66,18  | 102,29 | 82,26 | 82,43 | 76,35 | 76,07 | 76,07   | 77,09 | 98,9  | 99,64 | 5,91   | 0,74  |
| 59,44  | 63,54  | 101    | 82,44 | 82,64 | 76,36 | 76,08 | 76,08   | 77,24 | 98,91 | 99,79 | 6,08   | 0,88  |
| 42,74  | 43,52  | 83,93  | 40,33 | 59,56 | 35,21 | 34,93 | 34,93   | 52,06 | 57,76 | 74,61 | 5,12   | 16,85 |
| 43,54  | 44,91  | 87,98  | 38,6  | 66,15 | 34,97 | 34,69 | 34,69   | 60,46 | 57,52 | 83,01 | 3,63   | 25,49 |
| 47,83  | 49,75  | 74,25  | 39,78 | 57,23 | 32,29 | 32,01 | 32,01   | 54,91 | 54,84 | 77,46 | 7,49   | 22,62 |

| LAFTeq- | LAEq | Overload | LAF1,0 | LAF5,0 | LAF10,0 | LAF50,0 | LAF90,0 | LAF95,0 | LAF99,0 | StdDev | LavS5  | TWA    | TWAv |
|---------|------|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|------|
| 7,36    | 0    | 85,16    | 82,22  | 80,44  | 72,28   | 60,5    | 57,03   | 50,93   | 7,86    | 75,44  | 63,83  | 63,83  |      |
| 7,84    | 0    | 85,58    | 82,2   | 80,37  | 71,96   | 60,8    | 57,83   | 53,32   | 7,55    | 75,44  | 63,88  | 63,88  |      |
| 7,57    | 0    | 84,46    | 81,72  | 80,08  | 74,02   | 63,24   | 58,96   | 51,37   | 6,86    | 75,93  | 63,13  | 63,13  |      |
| 7,37    | 0    | 44,53    | 39,83  | 37,8   | 32,46   | 29,04   | 28,22   | 27,03   | 3,65    | 34,58  | 314,42 | 314,42 |      |
| 6,56    | 0    | 47,52    | 39,33  | 35,21  | 28,91   | 26,91   | 26,58   | 26,15   | 4,26    | 32,85  | 314,42 | 314,42 |      |
| 8,63    | 0    | 39,38    | 35,93  | 33,72  | 29,79   | 28,63   | 28,38   | 27,58   | 2,53    | 31,72  | 314,42 | 314,42 |      |

#### AULA 2 ESO

| Project | Elapsed  | Name | Time | LAFTeq | LAFmax | LASmax | LAlmax | LCFmax | LCSmax | LCImax | LAFmin | LASmin | LAlmin | LCFmin |
|---------|----------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mesura1 | 00:03:00 |      |      | 77,15  | 81,72  | 76,95  | 85,58  | 83,65  | 78,25  | 86,82  | 34     | 52,79  | 59,23  | 45,83  |
| Mesura2 | 00:03:00 |      |      | 78,38  | 83,2   | 77,16  | 86,02  | 83,21  | 77,44  | 86,39  | 37,89  | 56,6   | 61,67  | 49,15  |
| Mesura3 | 00:03:00 |      |      | 78,93  | 86,05  | 80,91  | 89     | 85,59  | 80,52  | 88,48  | 35,5   | 50,28  | 57,29  | 49,1   |
| Fons 1  | 00:03:00 |      |      | 42,87  | 48,93  | 43,13  | 52,73  | 62,54  | 57,01  | 65,9   | 26,78  | 29,93  | 30,13  | 41,65  |
| Fons 2  | 00:03:00 |      |      | 37,63  | 44,98  | 41,09  | 47,01  | 68,35  | 62,86  | 71,14  | 23,92  | 26,39  | 25,97  | 39,41  |
| Fons 3  | 00:03:00 |      |      | 44,49  | 54,59  | 50,67  | 56,18  | 67,81  | 62,47  | 69,43  | 26,9   | 29,96  | 30,6   | 41,84  |

| LCSmin | LCImin | LCpeak | LAeq  | LCeq  | LAeq  | Lep,d | Lep,d,v | LCeq  | LAE   | LCE   | LAeq- | LCeq- |
|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |        |        |       |       |       |       |         |       |       |       | LAeq  | LAeq  |
| 55,01  | 60,88  | 94,29  | 75,72 | 76,69 | 68,96 | 68,68 | 68,68   | 70,53 | 91,51 | 93,08 | 6,76  | 1,57  |
| 60,07  | 64,34  | 94,9   | 76,59 | 77,16 | 69,33 | 69,05 | 69,05   | 70,7  | 91,88 | 93,25 | 7,26  | 1,37  |
| 53,75  | 58,76  | 95,51  | 77,47 | 77,8  | 70,12 | 69,84 | 69,84   | 71,39 | 92,67 | 93,94 | 7,35  | 1,27  |
| 44,85  | 46,92  | 75,64  | 41,38 | 54    | 36,21 | 35,93 | 35,93   | 49,92 | 58,76 | 72,47 | 5,17  | 13,71 |
| 43,06  | 44,2   | 75,81  | 35,64 | 54,44 | 32,27 | 31,99 | 31,99   | 49,65 | 54,82 | 72,2  | 3,37  | 17,38 |
| 45,67  | 46,65  | 76,18  | 42,34 | 57,11 | 38,3  | 38,02 | 38,02   | 51,9  | 60,85 | 74,45 | 4,04  | 13,6  |

LAFTeq-

| LAeq | Overload | LAF1,0 | LAF5,0 | LAF10,0 | LAF50,0 | LAF90,0 | LAF95,0 | LAF99,0 | StdDev | LavS5 | TWA    | TWAv   |
|------|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|--------|--------|
| 8,19 | 0        | 78,57  | 75,31  | 73,36   | 64,04   | 49,84   | 45,6    | 40,66   | 8,79   | 68,16 | 59,23  | 59,23  |
| 9,05 | 0        | 79,24  | 75,44  | 73,37   | 65,09   | 52      | 48,38   | 42,45   | 8,13   | 68,73 | 58,83  | 58,83  |
| 8,81 | 0        | 80,62  | 76,07  | 73,99   | 65,29   | 51,75   | 47,48   | 42,15   | 8,43   | 69,32 | 59,84  | 59,84  |
| 6,66 | 0        | 43,77  | 40,24  | 38,8    | 34,82   | 30,77   | 29,8    | 28,04   | 3,19   | 35,95 | 314,42 | 314,42 |
| 5,36 | 0        | 39,46  | 36,33  | 35,04   | 30,85   | 27,76   | 27,07   | 25,48   | 2,91   | 32,07 | 314,42 | 314,42 |
| 6,19 | 0        | 48,86  | 43,31  | 40,16   | 35,07   | 31,39   | 30,44   | 29      | 3,91   | 37,3  | 314,42 | 314,42 |

## AULA 2 DE BATXILLERAT

Project Elapsed

| Name    | Time     | LAFTeq | LAFmax | LASmax | LAImax | LCFmax | LCSmax | LCImax | LAFmin | LASmin | LAImin | LCFmin |
|---------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mesura1 | 00:03:00 | 72,47  | 78,05  | 72,5   | 81,14  | 77,91  | 72,66  | 81,64  | 34,27  | 50,31  | 54,33  | 46,99  |
| Mesura2 | 00:03:00 | 74,58  | 84,48  | 80,11  | 87,48  | 86,37  | 81,03  | 89,28  | 38,37  | 50,94  | 55,56  | 48,4   |
| Mesura3 | 00:03:00 | 71,53  | 82,74  | 76,13  | 85,4   | 82,65  | 76,24  | 85,22  | 37,38  | 49,02  | 54,68  | 46,71  |
| Fons 1  | 00:03:00 | 37,23  | 44,32  | 44,46  | 55,94  | 65,71  | 60,64  | 72,64  | 27,42  | 29,49  | 29,61  | 40,93  |

| LCSmin | LCImin | LCpeak | LAeq  | LCeq  | LAeq  | Lep,d | Lep,d,v | LCeq  | LAE   | LCE   | LAeq- | LCeq- |
|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |        |        |       |       |       |       |         |       |       |       | LAeq  | LAeq  |
| 55,05  | 57,43  | 91,46  | 70,7  | 71,15 | 63,63 | 63,35 | 63,35   | 65,07 | 86,18 | 87,62 | 7,07  | 1,44  |
| 56,34  | 59,07  | 98,77  | 72,25 | 73,4  | 65,55 | 65,27 | 65,27   | 67,41 | 88,1  | 89,96 | 6,7   | 1,86  |
| 56,09  | 58,89  | 93,88  | 69,67 | 70,78 | 62,02 | 61,74 | 61,74   | 64,53 | 84,57 | 87,08 | 7,65  | 2,51  |
| 43,71  | 44,99  | 73,64  | 38,71 | 55,76 | 33,17 | 32,89 | 32,89   | 49,4  | 55,72 | 71,95 | 5,54  | 16,23 |

LAFTeq-

| LAeq | Overload | LAF1,0 | LAF5,0 | LAF10,0 | LAF50,0 | LAF90,0 | LAF95,0 | LAF99,0 | StdDev | LavS5 | TWA    | TWAv   |
|------|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|--------|--------|
| 8,84 | 0        | 74,16  | 69,86  | 67,55   | 58,84   | 48,75   | 46      | 41,41   | 7,17   | 62,83 | 57,53  | 57,53  |
| 9,03 | 0        | 77,04  | 71,64  | 68,06   | 57,99   | 50      | 46,97   | 42,22   | 7,19   | 63,64 | 60,46  | 60,46  |
| 9,51 | 0        | 71,8   | 67,94  | 65,38   | 57,03   | 48,53   | 45,62   | 41,21   | 6,59   | 61,02 | 60,14  | 60,14  |
| 4,06 | 0        | 41,02  | 36,43  | 34,93   | 31,95   | 29,66   | 29,15   | 28,56   | 2,38   | 33,05 | 314,42 | 314,42 |

## GIMNÀS

| Project | Elapsed  | Name | Time | LAFteq | LAFmax | LASmax | LAlmax | LCFmax | LCSmax | LCImax | LAFmin | LASmin | LAlmin | LCFmin |
|---------|----------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mesura1 | 00:03:00 |      |      | 84,64  | 90,14  | 85,56  | 91,91  | 90,35  | 85,98  | 92,43  | 47,94  | 55,89  | 61,02  | 54,05  |
| Mesura2 | 00:03:00 |      |      | 84,76  | 91,42  | 85,52  | 93,44  | 90,89  | 85,17  | 93,09  | 51,76  | 64,77  | 68,51  | 55,1   |
| Mesura3 | 00:03:00 |      |      | 84,61  | 89,36  | 83,99  | 91,6   | 90,09  | 85,11  | 91,9   | 55,93  | 68,75  | 71,98  | 59,41  |
| Fons 1  | 00:03:00 |      |      | 41,5   | 50,82  | 42,63  | 56,17  | 55,47  | 52,75  | 58,24  | 23,68  | 24,91  | 24,66  | 41,23  |
| Fons 2  | 00:03:00 |      |      | 41,3   | 46,79  | 43,17  | 48,32  | 57,36  | 54,41  | 59,03  | 23,46  | 24,94  | 24,79  | 41,55  |
| Fons 3  | 00:03:00 |      |      | 41,91  | 53,98  | 48,91  | 55,11  | 60,57  | 57,63  | 62,33  | 25,9   | 27,11  | 27,21  | 45,95  |

| LCSmin | LCImin | LCpeak | LALeq | LCleq | LALeq | Lep,d | Lep,d,v | LCeq  | LAE   | LCE    | LALeq- | LCeq- |
|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|--------|--------|-------|
|        |        |        | LALeq | LCleq | LALeq | Lep,d | Lep,d,v | LCeq  | LAE   | LCE    | LALeq  | LALeq |
| 60,15  | 63,43  | 101,84 | 82,26 | 82,65 | 77,03 | 76,75 | 76,75   | 77,76 | 99,58 | 100,31 | 5,23   | 0,73  |
| 66,92  | 69,34  | 102,8  | 82,59 | 82,72 | 76,45 | 76,17 | 76,17   | 77,02 | 99,01 | 99,57  | 6,14   | 0,57  |
| 71,19  | 72,86  | 102,2  | 82,37 | 82,75 | 77,24 | 76,96 | 76,96   | 78,01 | 99,79 | 100,56 | 5,13   | 0,77  |
| 43,36  | 44,39  | 74,75  | 39,06 | 51,3  | 32,77 | 32,49 | 32,49   | 48,29 | 55,32 | 70,84  | 6,29   | 15,52 |
| 44,34  | 45,13  | 64,63  | 39,25 | 52,05 | 36,6  | 36,32 | 36,32   | 49,19 | 59,15 | 71,74  | 2,65   | 12,59 |
| 49,05  | 49,46  | 69,1   | 38,95 | 55,87 | 34    | 33,72 | 33,72   | 52,85 | 56,55 | 75,4   | 4,95   | 18,85 |

| LAFteq- | LAEq | Overload | LAF1,0 | LAF5,0 | LAF10,0 | LAF50,0 | LAF90,0 | LAF95,0 | LAF99,0 | StdDev | LavS5 | TWA    | TWAv   |
|---------|------|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|--------|--------|
|         | 7,61 | 0        | 86,48  | 82,62  | 80,48   | 73,79   | 66,76   | 64,01   | 57,83   | 5,66   | 76,33 | 63,49  | 63,49  |
|         | 8,31 | 0        | 86,73  | 81,61  | 79,86   | 72,74   | 64,51   | 62,41   | 59,15   | 5,9    | 75,7  | 63,01  | 63,01  |
|         | 7,37 | 0        | 85,49  | 82,3   | 80,79   | 74,95   | 68,54   | 66,62   | 62,84   | 4,76   | 76,93 | 63,68  | 63,68  |
|         | 8,73 | 0        | 41,31  | 37,55  | 35,9    | 30      | 25,82   | 25,23   | 24,51   | 3,91   | 32,2  | 314,42 | 314,42 |
|         | 4,7  | 0        | 42,52  | 40,95  | 40,12   | 35,18   | 27,24   | 26,22   | 24,72   | 4,79   | 36    | 314,42 | 314,42 |
|         | 7,91 | 0        | 43,44  | 37,2   | 35,1    | 30,92   | 28,41   | 27,92   | 27,01   | 3,16   | 33    | 314,42 | 314,42 |

## 7.2.- ANNEX II

En aquest annex s'inclouen les imatges realitzades durant el treball i que no han estat utilitzades anteriorment.

### AULA 1 ESO







**AULA 2 ESO**



**AULA 2 DE BATXILLERAT**



**GIMNÀS**

