

EN BUSCA DE UN MARCO COMÚN EUROPEO EN MATERIA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO EN VIVIENDAS: INTERCAMBIO DE EXPERIENCIAS Y DIFICULTAD DE CONSENSO

PACS: 43.15.-s; 43.50.Qp; 43.50.Rq; 43.50.Sr

María Machimbarrena¹; Patrizio Fausti²

1 Dpto. Física Aplicada

ETS Arquitectura

Av Salamanca s/n, 47014 Valladolid, Spain

mariao@opt.uva.es

2 Engineering Department, University of Ferrara

Via Saragat 1, 44100 Ferrara (FE), Italy

patrizio.fausti@unife.it

RESUMEN

La Unión Europea nace para propiciar la integración y gobernanza en común de los estados y los pueblos de Europa. Además de crear un marco legislativo que asegure la libre circulación de ciudadanos, bienes, y servicios, se ha creado una política común en muchos otros aspectos tales como el mercado, la agricultura, la pesca... El ruido ambiental ha sido también abordado por la normativa europea y sería deseable que en algún momento se abordara el problema del ruido en las viviendas. Sin embargo no es fácil alcanzar un consenso por lo que respecta a los parámetros a utilizar para evaluar la calidad acústica de las viviendas o respecto a cómo crear una calificación acústica de viviendas que pudiera ser adoptada por todos los estados miembro. Este ha sido el objetivo perseguido desde COST TU0901 (<http://www.costtu0901.eu/>), que ha propiciado el marco adecuado para recoger una gran diversidad de puntos de vista, experiencias y datos no siempre concordantes, las cuales que se resumen a continuación.

ABSTRACT

The European Union was created to promote the integration and joint governance of the States and people in Europe. Besides creating a legislative framework to ensure the free movement of people, goods, and services, the EU has created a common policy in many other aspects such as marketing, agriculture, fishing ... Environmental noise problems have also been addressed by EU regulations and it would be convenient that, at some point, noise in dwellings becomes an issue. However it is not easy to reach a consensus regarding the parameters to be used to evaluate the acoustic quality of dwellings or on how to create an acoustic rating of dwellings that could be adopted by all member States. This has been the objective of COST TU0901 (<http://www.costtu0901.eu/>), which has provided the adequate framework for collecting a diversity of approaches, experiences and data which do not always agree and are summarized below.

FOREWORD

Most European countries have legal requirements concerning acoustic performance of buildings although these differ widely in performance descriptors and limit values. 11 European countries also have acoustic classification schemes for dwellings, but certainly these schemes are far from being similar. The wide diversity (indicators, limits, steps between classes, grade of quietness achieved, building technology concerning acoustic performance, etc.) found in existing building codes and classification schemes is an obstacle for exchange of experience, EU legislators understanding, development and trade.

It is accepted that although the level of requirement should be ruled within each country, if all European countries used the same descriptors and had similar criteria for acoustic classification schemes of dwellings, all involved sectors would in the long run benefit from the change: end user, manufacturers, legislators, builders...

The harmonization of such descriptors and hopefully performance levels of sound insulation classes is needed to make progress and will be well received by many industry, government and research sectors. The European networking Action COST TU0901[1] has been working over the last 4 years stimulating research, collecting experiences from 29 different countries and joining efforts to try to find a consensus proposal both for descriptors and classification scheme.

This has not been an easy task and full consensus is not really achieved, since acoustics and building problems and solutions are not necessarily the same all over Europe. Nevertheless, some consensus has been possible and extremely fruitful discussions have taken place, which are briefly exposed hereinafter.

INTERCHANGING EXPERIENCES

Collection of the Information on Sound Insulation Descriptors and Classification Scheme

The starting point of the networking job was to collect information about existing parameters, limits, building codes and classification schemes. Tables 1 to 3 show a summary of collected data [2].

Update 2010	Austria	Belgium	Denmark	Estonia	Finland	France	Germany	Hungary	Iceland	Italy	Lithuania	Netherlands	Norway	Poland	Portugal	Romania	Spain	Sweden	Switzerland	UK
Airborne	A	B	DK	EE	FIN	F	D	H	IS	I	LT	NL	N	PL	PT	RO	E	S	CH	GB
Rw			x	x	x		x		x	x	x		x			x				
Rw+C								x						x						
Rw+C50-3150			x	x					x		x							x		
Rw+C100-5000																				
Rw+C50-5000																				
Dn,w																				
Dn,w+C																				
Dn,w+C50-3150																				
Dn,w+C100-5000																				
Dn,w+C50-5000																				
DnT,w	x	x									x				x					
DnT,w+C							x				x				x					x
DnT,w+C50-3150																				
DnT,w+C100-5000											x									
DnT,w+C50-5000																				
DnT,w+Ctr100-3150																				x
Impact	A	B	DK	EE	FIN	F	D	H	IS	I	LT	NL	N	PL	PT	RO	E	S	CH	GB
Lr,w			x	x	x		x	x	x	x	x		x	x		x			x	
Lr,w+Ci											x									
Lr,w+Ci,50-2500			x	x					x											
Lr,w	x	x				x											x			x
Lr,w+Ci																				
Lr,w+Ci,50-2500																				
Façade	A	B	DK	EE	FIN	F	D	H	IS	I	LT	NL	N	PL	PT	RO	E	S	CH	GB
Rw	x						x													
Rw + Ctr	x				x			x							x					
DnT,2m,w										x	x				x					
DnT,2m,w + Ctr		x				x					x	x			x					x
Lden/24h			x	x					x											
Lnight			x	x																
Lmax									x											x
Equipment	A	B	DK	EE	FIN	F	D	H	IS	I	LT	NL	N	PL	PT	RO	E	S	CH	GB
dBA-eq	x	x	x	X >63	X >20	X >100		X +C	X	X >63	X >63	X >63	X >63	X	X +C	X				X >100
dB A-maxS										X >63	X >63	X >63	X >63							
dB A-maxF		x		X >63	X >20		X >100		X					X >63	X					x
dB C-eq	x			X >64					X											
dB C-maxF														X >63						
Classifications	A	B	DK	EE	FIN	F	D	H	IS	I	LT	NL	N	PL	PT	RO	E	S	CH	GB
classes	x		x		x		x		x	x	x	x	x	x					x	x
low frequencies	(x)		(x)						(x)		(x)								(x)	

Table 1: Summary of existing parameters and classification schemes [2-COST-TU0901-WG1-N12]

Not only are there many different sound insulation parameters used around Europe, but also requirements vary significantly [3,4,5].

Airborne sound between dwellings		n=11					generals remarks
Country	Quantity	class1	class2	class3	class4	class5	
NL	D _{nT,A}	62	57	52	47	42	other enclosed spaces than rooms: 5 dB less stringent for all
AT	D _{nT,w}			55	50		rowhouses 5 dB more stringent
	D _{nT,w} +C ₅₀₋₃₁₅₀	60	55				
LT	D _{nT,w} +C ₅₀₋₃₁₅₀	63	58	-	-	-	also for Rw+C ₅₀₋₃₁₅₀
	D _{n,T,w} or R _w	-	-	55	52	48	
BE	D _{nT,w}	62	58				Standard NBN S01-400-1:2008
	D _{nT,w} +C ₅₀	58	54				version 2013
SE	D _{nTw} +C ₅₀₋₃₁₅₀	61	57	53			volume restriction so actually D _{nTw} +C
	R' _w				49		
CZ	R' _w , D _{nT,w}		59	55	53		
IT	R' _w		56	53	50	45	Min. requirements depend on the intended use of buildings (*)
IS	R' _w			55	50		D _{n,w} is used when the area of the
	R' _w +C ₅₀₋₃₁₅₀	63	58	53			is less than 10 m ²
PL	R' _w +C ₅₀₋₃₁₅₀	59	56	53	50		S<10: D _{nTw} +C, level 1 dB higher
DK	R' _w + C ₅₀₋₃₁₅₀	63	58				
	R' _w			55	50		
NO	R' _w	63	58	55	50		If the common partition is less than 10 m ² , S =10 m ² .

Table 2: Summary of limits and parameters for airborne sound insulation used in existing classification schemes. [2-COST-TU0901-WG1-N34]

impact insulation classification		n=11						
Country	Quantity	class1	class2	class3	class4	class5	class6	generals remarks
NL	$L_{nT,A}$	43	48	53	58	63		stairs 5 dB more stringent
AT	$L'_{nT,w}$	38	43	48	53			rowhouses 5 dN more stringent
	$L_{nT,w}+C_{1,50-2500}$	43	43					in combination with $L_{nT,w}$ req
LT	$L_{n,w}+C_{1,50-2500}$	43	48	-	-	-		
	$L_{n,w}$	-	-	53	58	60		
BE	$L_{nT,w}$			50	58			
SE	$L'_{nT,w}+C_{1,50-2500}$		48	52	56			$L_{nT,w}$?
	$L'_{n,w}$					60		
CZ	$L'_{n,w}, L'_{nT,w}$	42	48					
IT	$L'_{n,w}$			53	58	63	68	
IS	$L'_{n,w}$			53	58			
	$L'_{n,w}+C_{1,50-250}$	43	48	53				
PL	$L'_{n,w}$	43	48	53	57			
DK	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	43	48					
	$L_{n,w}$	43	48	53	58			
NO	$L_{n,w}$	43	48	53	58			

Table 3: Summary of limits and parameters for impact sound levels used in existing classification schemes. [2- COST-TU0901-WG1-N34]

The next step in the process was to collect advantages and disadvantages found for most used indicators, and preferred quantity to be used, based on experience in each country. Trying to keep science and objective arguments as driving forces, it is nevertheless extremely difficult to agree on “what should be the best”. All COST TU0901 countries were asked on pros and cons about of the various existing and proposed descriptors, such as

- assessment methods, frequency range for assessment;
- measurement methods, in terms of reproducibility, complexity, time;
- relation between the descriptor and the perception;
- comparison with laboratory quantities;
- practical, financial or any other relevant point of view;

Tables 4 to 7 show a summary of “starting point” main advantages and disadvantages. The real discussion was started once all this information was collected. Most controversial issues are commented in next section.

Quantity	D_{nT}	R'
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> - good relation to the subjective response (11) - also for rooms not adjacent or small area (6) - no need to determine room volume (6) - easy to use, simple to explain (2) - well-established in regulations in whole world - correct sound insulation vertical vs horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> - is related to the construction itself (3) - product data are available (3). - robust measure, long experience (2) - easier to use in building planning process (2) - well-established in regulations in whole world (2). - no dependence on direction and room size - does not require reference T_0 - in laboratory it is ok.
Disadvantage	<ul style="list-style-type: none"> - is depending on room size and direction (2) - more difficult to use by architect (2) - large rooms, results tend to overestimate (2) - difficult to compare measurement with requirements - average field data can be biased due to inclusion of atypical volumes - not suitable for evaluation of partition transmission loss. - is 0,5 s correct for low frequencies? 	<ul style="list-style-type: none"> - does not correspond to what people hear (5) - needs volume and area, often not clear defined (4) - in-situ flanking constructions influence the result - it does not consider different room shapes enough - confusion between element and in-situ property - in the field it creates numerous problem.

Quantity	L_{nT}	L'_n
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> - good relation to the subjective response (4) - no need to determine room volume (4) - easy to use, simple to explain - well-established in regulations in whole world - correct sound insulation vertical vs horizontal - good solution for control spectrum 	<ul style="list-style-type: none"> - good for small and normal rooms - room absorption taken into account - product data are available - easier to use in building planning process - does not require reference T_0 - in laboratory it is ok.
Disadvantage	<ul style="list-style-type: none"> - large rooms, results tend to overestimate (2) - lack of direct relation with product data - is 0,5 s correct for low frequencies? - problems in case differences between reference value and real T_{60} - difficult to transfer lab data to in-situ data 	<ul style="list-style-type: none"> - Confusion between element and in-situ properties - needs volume and area, often not clear defined (2) - confusion between element and in-situ property - in the field it creates numerous problem. - not advisable with large rooms because of the standardization to equivalent absorption area.

Quantity	$D_{2m,nT}$	R' (R'_{45}/R'_{tr})	L_{indoor} (any of them)
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> - all $D_{2m,nT}$ are preferred to estimate global façade performance including flanking transmissions. - $D_{2m,nT}$ directly relates outdoor and indoor level - Easy to measure, no need to determine room volume and joint face. - Loudspeaker as source is preferred for S/N (Signal-to-Noise ratio) and repeatability reasons - D (compared to R) is more directly comparable to quantity adopted as acoustic classification of building facades 	<ul style="list-style-type: none"> - Both R' are preferred when comparing with element laboratory performances 	<ul style="list-style-type: none"> - Related to the perception of the sound source: directly related to real external noise levels - More related to user annoyance and subjective assessment - Directly related to the inner noise environment
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> - D_{tr} has different measuring methods related to different traffic sources, has low repeatability and suffers from low S/N (Signal-to-Noise ratio) - $D_{tr,2m,nT}$ needs more investigation about microphone positions (balcony, patio, loggia, roofs) 	<ul style="list-style-type: none"> - R'_{45} and R'_{tr} give in some cases different results - Measurement procedure for R'_{tr} quite complicated - Facade shape not taken into account; difficult to accurate measure with balconies etc. - Related to the perception of the sound source: Less correlated with perceived level difference, 	<ul style="list-style-type: none"> - Not directly related to the acoustical properties of the facade constructions - Depending on both facade properties and outdoor noise, not on a building product

Table 4: Pros and cons of most used R' parameters. [COST-TU0901-WG1-N13 and N15]

Assessment	A (A-weighted traffic or other source spectrum)	w (curve shifting method)
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> - correspond better with real situation, annoyance (5). - easy to explain and calculate (2) - system can be the same for all aspects, only different source spectrum (2) - facilitates uncertainty calculations - allows quick calculation of A-weighted levels 	<ul style="list-style-type: none"> - used since 40 years all over the world (3) - simple and easy-to-communicate number (2) - independent of the source spectrum - allows quick calculation of A-weighted levels and provides link to manufacturers data
Disadvantage	<ul style="list-style-type: none"> - varies with type of source spectrum. - a single spectrum not representative for all 'living' noise - A-weighting not well related to the subjective estimation of a sound, loud noise or low frequency noise 	<ul style="list-style-type: none"> - has to be enlarged to 50 Hz for annoyance (5) - too complex determination method (2) - not adequate without spectrum adaptation terms (2) - not adequate for deficiencies, coincidence (2) - less correlated with perceived level difference (2) - adding and subtracting elements or transmission path is not exact - one curve not adequate for all constructions

Table 5: Pros and cons of assessment method for airborne sound. [COST-TU0901-WG1-N13]

Assessment	A (A-weighted traffic or other source spectrum)	w (curve shifting method)
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> - correspond better with real situation, annoyance (4). - easy to explain and calculate (2) - system can be the same for all aspects, only adequate transfer function (tapping machine) (2) - facilitates uncertainty calculations - very important problem in dwellings with floors covered with panels! (?) 	<ul style="list-style-type: none"> - used since 40 years all over the world (3) - simple and easy-to-communicate number (2) - independent of the source spectrum - allows quick calculation of A-weighted levels and provides link to manufacturers data
Disadvantage	<ul style="list-style-type: none"> - no good descriptor for walking spectrum - varies with type of source spectrum - does not cover all "impact" sources 	<ul style="list-style-type: none"> - has to be enlarged to 50 Hz for annoyance (2) - too complex determination method (2) - the shape of existing reference curve in low frequencies range seems to be not fitting to subjective evaluation(2) - in large rooms it is almost impossible to fulfil requirements - does not cover all "impact" sources

Table 6: Pros and cons of assessment method for impact sound. [COST-TU0901-WG1-N13]

Assessment	"Source weighting"	Reference curve (w)
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> - Good correlation with perceived level difference, allowing source spectrum to be assigned - A traffic preferred for façade, since traffic is the major noise source problem - assessment easy to explain and easy to calculate 	<ul style="list-style-type: none"> - $D_{n,w} + C$ or C_{tr} seem have good reproducibility - Independent of the source spectrum - For R' the w method allows comparison with R_w from lab
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> - Varies with type of source spectrum 	<ul style="list-style-type: none"> - Less correlated with perceived level difference. - Not suitable for source spectrum rich in low frequencies, requiring adaptation terms - The correction with spectrum adaptation terms seems to be too complicated

Table 7: Pros and cons of assessment method for façade sound insulation. [COST-TU0901-WG1-N15]

Collection of The Information on Design and Acoustic Performance of Building Components for Multi-Storey Housing

The rationalization of sound insulation descriptors, which is also one of the objectives of the current activity of the European and International Standardization Organization (particularly the CEN/TC 126 and ISO/TC43/SC2), could facilitate the exchange of data on sound insulation of building elements and systems from country to country and promote marketing and trade of building elements, systems and constructions.

For this reason another activity of the COST Action TU0901 was devoted to the collection and discussion of construction details and sound insulation data for constructions used for partitions and floors in the different countries with the aim to prepare a European database with traditional and innovative "robust" solutions for sound insulation of new dwellings and for the improvement of existing dwellings. Furthermore, the collection and analysis of the design errors and effect of workmanship could lead to extensive knowledge transfer to non acousticians with the results of an improvement of the acoustic quality using better the existing materials and technology. The following information and data were collected:

- Overview of housing stock (quantities of housing stock and total population; proportion of apartments, terraced, row and detached houses; number of new homes built per year; etc)
- Existing housing (period of building, description, typical separating walls and performance, methods of improving sound insulation, important features during improvements, etc)
- New build housing constructions (Heavy and/or lightweight typical constructions; typical performances; details, junctions, materials; typical errors in design and workmanship)

- Procedures (check lists, uncertainty, complaints, etc)

The collection of the data is not yet complete; at the moment an average of 12-13 countries have submitted information for every point of the upper list and this constitutes a first step in the preparation of a database to share information, technology, performance, procedures to improve the process to obtain quality and sustainable housing. For the prosecution of the activity, it was proposed to prepare a single chapter for each country, to summarize and include the information collected. The contribution of each country could be different, depending on historical sound insulation regulations, information available on building techniques and sound insulation data which can be found. An online database with all collected information (including detailed drawings of typical building constructions around Europe) will be available as an output of the TU0901 networking experience.

The population of the COST participant European Countries goes from a minimum of 0.33 (Iceland) to 82 million (Germany) with a population density (inhabitant/area) from 3 (Iceland) to 400 (Netherlands). The total housing is between 0.14 and 39 million and the percentage of attached (involving terraced, row, semidetached and apartment constructions) over the total housing stock varies from 32 to 86 with an average of 62 %. For this reason sound insulation requirements between dwellings are an important element for the quality of life for home occupants.

In European countries there is not a typical structural construction product for attached housing but different categories. A simplified classification can be found in [6], together with the description of masonry and concrete wall types, beam and block and in-situ composite separating floor types, timber and lightweight frame wall and floor structures.

The methodologies of construction adopted have also been changing across European countries, moving towards offsite construction, pre-fabricated systems, lean construction (management applied to building process). In recent years, the increasing of thermal and other technical and sustainability requirements has determined the increase in the use of modular constructions, lightweight and timber structures.

As an example, the performances of the typical separating walls currently being built involving solid blocks, hollow clay blocks, precast and in-situ concrete types for blockwork, are analyzed. The separating wall construction total widths vary from 240mm to 370mm. The performance ranges from $D_{nT,w}$ 50 dB to 61 dB. Noticeably the performance of these constructions is not always relative to their width or mass per unit area. This is primarily due to flanking sound transmission via the external walls and their junctions with the separating wall leaf. During the review of the submitted drawings from each country it was found that there is a variety of isolation mechanisms at "wall-floor" junctions and "wall-external wall" junctions being adopted. In order to provide acoustically more robust construction, the knowledge of good and bad practices and the possible effects of workmanship is also of primary importance.

Therefore, during the design phase, it is important to define the best technological solutions that will ensure good acoustic design, but it is also important to make it easy to understand the details and the procedures. In addition, a failure to consider the impact of changes to non-acoustic issues can have a significant effect on sound insulation.

Another important issue to consider is the difference between the way a partition is built in the laboratory and in the field, which may lead to different results from those expected using the laboratory data in the calculation models. Therefore, it is always important to check that the technological solution chosen in the design phase is what will actually be built.

Looking at the typical design errors reported from the different European countries, it is shown that, apart from some typical cases repeated in several countries, there are several differences depending on the tradition and historical application of the acoustic requirements. In some countries the acoustic design is not considered and the choice of the structures is frequently below requirements, in other countries a small variation in the resonance frequency or in the disconnection could be considered design errors.

Also for the workmanship errors, the collection of the data has shown that most of the problems happen because the contractor or the builders do not understand the basic concepts. In the following tables 8 to 11 typical design and workmanship errors are reported [7], [1].

<i>Description of the errors</i>
Noisy room (kitchen with living room, WC) near a quiet room (living or bedroom) of the dwelling
Location of noisy nightly activities on the ground floor of residential buildings
Sound insulation properties of chosen structure below requirements
Insufficient description of the material to be used (density of blocks, shape, etc) or missing description for connection details (separating wall and floor/ceiling/facade, etc)
Lack of riddle or structural beam on the floor slabs above the separating walls
Thermal insulation lining on a concrete wall between heated room in the apartment and the adjacent unheated room with wrong resonance frequency of the mass-spring-mass system
Inner leaf of the external walls not interrupted in correspondence with the T junction with the partition walls
Attic rooms: roof (ventilated or not) not interrupted in correspondence with the junction with the partition walls
Use of ceiling consisting of a flexible layer on mineral wool in order to increase the airborne and or the impact sound insulation of floors; if the resonance frequency of the flexible layer is in the range of 50 – 80 Hz, it is possible a decrease in sound insulation in this frequencies with possible complaints
Lack of mortar in vertical joints, leaving partially filled joints between blockwork for walls that require mortar also in vertical joints
Insufficient plaster layer (not fulfilling producer's guidelines)
Gaps above masonry wall or crack in the wall (acoustic leakage)
Service zones made symmetrically (not staggered) on both sides of the wall (electrical box, ventilation pipes, etc)
Ventilation channels situated near each other in one cluster or unique ventilation duct for several floors (this reduces sound insulation between flats in different floors)
Flanking transmission via gypsum board, passing by the wall between dwellings (inner leaf of external wall bridges double stud wall reducing its acoustic performance)
Sound absorbing material not continuous in the cavity of cavity walls
Tears in the sound absorbing material inside the cavity of cavity walls due to service zones or pipe chases: the subsequent filling with mortar may create a bridge between the two leaves of the cavity wall
Pipe chases for building services not properly filled with mortar
Lack of the plaster (3 rd plaster) on one side of the cavity in the cavity wall when prescribed in the chosen technical solution
Incorrect installation of elastic interlayers on top of double walls. Plaster bridges wall and ceiling.
Resilient layer, used as isolation mechanisms at "wall-floor" junctions, under the single heavy walls (risk of crushing of resilient layer)
Hard connection between the two walls initially designed as disconnected walls (contractor does not understand the basics)
Leakage via cavity if rigid insulation is used in junction instead of soft thermal insulation (and presence of windows)
Continuous foundation/lowest floor and no resilient interlayers (design error if high sound insulation performance is requested)
Position of installations (sewage, water supply, mechanical installation HVAC) located between a wall/two walls of detached dwellings
Use of timber separating floors with masonry supported walls (connection between two separate structures which do not have technical compatibility for sound insulation) leads to excessive flanking sound transmission, with 10 to 15dB drop in performance for airborne SI
Collection of mortar at base of cavity wall (at ground floor) – creating a strong acoustic bridge

Table 8 – Typical examples of construction errors for airborne sound insulation between dwellings

<i>Description of the errors</i>
Placing habitable spaces such as living rooms and bedrooms on the side facing the noise sources (noisy street, motorways...)
Sound transmission via non attenuated ventilation grids
Fine setting of doors and windows not made or made incorrectly
In case of use of rolling shutter: opening between the rolling shutter and the external wall too wide and/or lack of the brush between the rolling shutter and the external wall
In case of use of rolling shutter: rolling shutter box sides too light and/or absence of sound-absorbing material inside the box or rolling shutters with the box embedded in the wall
In case of use of rolling shutter: rolling shutter box incorrectly connected to the wall (presence of gaps between the rolling shutter box and the wall)
Lack of sealing in some areas between the frame and the counter-frame, hidden by windows profiles
Lack of mortar in some areas between the counter-frame and the walls, hidden by windows profiles
Counter-frame empty inside (lack of foam or sound-absorbing material)
Contact areas between glass and window shutter not properly sealed

Table 9 – Typical examples of construction errors for façade sound insulation

<i>Description of the errors</i>
Lack of floating floor in the terraced houses (this error could lead to very bad performance in horizontally impact sound)
Insufficient or wrong elastic layer in floating floor structure
Mass of floor slab/structure not sufficient (with floating or suspended floor systems)
Skirting board in direct contact with ceramic floor
Ceramic floor tiles in contact with the walls
Perimeter resilient band not properly adherent to the walls and the consequent presence of mortar between the band and the walls
Perimeter resilient band too short or cut before the placing of the ceramic floors
Perimeter resilient band not continuous, especially in corners
Rigid contact between the ceramic tiles or the floating mortar with the French window marble doorstep
Lack of structural separation between the floating mortar in correspondence of the door of the rooms
Floor surface below the resilient material not perfectly flat or not properly cleaned (presence of brick or iron pieces, cables, etc)
Stair construction not separated from the wall with rooms (impact noise from staircase to apartments)
Tears in the resilient material of the floating floor
Presence of pipes not fully embedded into the lightened mortar (under the resilient material)
Problems with bathroom floors (tiled floors and walls, many pipes, etc)
Insufficient insulation of heating pipes from sand/cement screed or incorrect fixation of heating element (sound bridges between screed and concrete slab reducing impact sound insulation between flats)
Incorrect fixing of resilient bar with ceiling fixing screws (the screws should not touch joists)
Wrong installation of ceiling causing sound bridges (reduced effect of the resilient mounting)

Table 10 – Typical examples of construction errors for impact sound insulation

<i>Description of the errors</i>
Bathroom, kitchen or waste water equipment placed adjacent to sleeping rooms
Location of the elevator shaft close to sleeping rooms
Waste water pipes embedded in the mortar: lack of acoustic insulation material around the pipes next to the floor, walls or next to other pipes
Supply pipes without acoustic insulation material (acoustic bridge)
Tears of the acoustic insulation material surrounding the pipes, especially in areas of other pipes engagements
Connection between waste water pipes and walls made with rigid anchorages (fixing clamps)
Waste water pipes curvature areas without acoustic insulation material
Lack of sound-absorbing material inside the cavities
Curvature of 90° to the basement of the vertical waste water pipe / change of direction

Table 11 – Typical examples of construction errors for the service equipments

Considering the long list of design and workmanship errors, it is necessary to take into account this aspect very carefully, also because this is an important source of variability [8] for the sound insulation performances. The uncertainty correlated with the mounting conditions and the effect of workmanship depends on the type of constructions and its evaluation requires extensive field tests and analysis. In order to avoid mistakes and provide more robust construction designs to achieve their required sound insulation performance levels, the use of checklists is a very important and useful procedure. Spain, Belgium and the UK have checklists but the procedures are not mandatory. Other countries, like Romania, Slovenia, Sweden, have specific procedures to check documentation and on-site verification. The Netherlands have an attention list. Switzerland has a checklist for service equipment but only for Minergie label (private). In Italy, the limiting values are mandatory while the procedures to comply are voluntary or depend on the regional or municipal regulations.

DIFFICULTIES FOR CONSENSUS

Airborne Sound Insulation Assessment and Corresponding Frequency Range

For airborne sound insulation, D_{nT} was chosen as the preferred quantity, and the preferred assessment method was some kind of “A weighting”. The most controversial aspect is still which frequency range to use for single number assessment and if several single number possibilities should be available, providing information about the partition performance against specific noise sources, such as normal living noises, traffic noise or speech [9-12]. The goal is to propose one or several weighting curves having a high correlation to annoyance perceived from specific sound sources, but in spite of existing proposals, there is still ongoing debate about this issue [13-18].

Although it is commonly agreed that low frequencies are in fact disturbing for the end user, it is not yet agreed on how to take them into account, since measurement methods and corresponding uncertainties at low frequencies are still under debate. Furthermore, most European countries have never included lower frequencies (50, 63 and 80 third octave bands) in their measurements, and would prefer to have a long transition period before adopting as normative the lower bands.

Besides, building techniques vary considerably around Europe. The low frequency problem (as far as airborne sound is concerned) seems to be more an issue for lightweight type of constructions than for heavyweight, which in the end affects manufacturer’s capacity to market and sell their building products. If the lower frequency range is included in single number assessment, all products involved in the building process will need to be retested and their performance evaluated including the lower frequency bands. Not to mention that new measurement methods will have to be adopted.

The positive consequences of extending frequency range (end user protection and satisfaction) are not without high economic costs and important legislation changes in many countries; whatever the final proposal, it will need to provide a long enough transition period in order to give time to countries with no previous experience (or even no legislation in this field) to be able to implement the proposal without side effects for the already devastated building industry.

Impact Sound and Corresponding Frequency Range

For impact performance, the level in the receiving room has always been used as a descriptor, so the higher the descriptor, the worse the performance of the partition. This “inverse” relation between indicator and performance is well known among acousticians, but not so easily understandable for end users or even non experts involved in the building industry.

The COST group has agreed on maintaining this quantity, but using the reference curve shift as assessment method, $L_{nT,w}$. On the other hand, the corresponding working group in ISO has made an innovative proposal, and suggests a totally new parameter, which would be calculated using a procedure similar to airborne (using an impact weighting curve) [19]. This method will in the end provide a single number quantity for impact, easier to understand by non-experienced users. Unfortunately there is no consensus yet as to which approach is more adequate (scientific approach included) so, as of today, $L_{nT,w}$ remains as the proposed quantity.

Besides the common problems found for airborne sound (measurement methods, building differences, different countries...) at this point, the most controversial issue is the use of C_1 adaptation term and corresponding frequency range for it, since there are even new voices suggesting measuring down to 20 Hz for impact sound descriptors [20] for very lightweight structures.

On the use of C_1 adaptation term there is not consensus also at standardization level, as demonstrates the discussion around the proposed ISO 16717-2. The use of the C_1 adaptation term in the presence of a strong component at low frequency reduces the performance of the impact sound measurements of the floor and this effect has determined controversial opinion regarding the real annoyance with the low frequency component. A component at low frequency is normally found with timber lightweight floors. The discussion for and against the annoyance at low frequency has masked another problem which appears when the measurement of the impact sound shows strong components at medium and high frequency. In this case the effect of the C_1 adaptation term is an improvement of the results for the impact sound measurements. The component at medium and high frequency can be found when a floating floor system with ceramic tiles on a heavyweight floor is realized with design or workmanship errors. The use of the C_1 adaptation term, in particular the one limited at the upper frequency of 2500 Hz, makes it very difficult to detect and reject this faulty elements. With this type of floor, usually the low frequency components are not a problem because of the mass of the structures; instead, the high frequency component determined by the impact of hard sources on the ceramic tiles (for example, the drop of objects, the movements of chairs and tables, etc) is considered very annoying.

Façade sound and corresponding frequency range

For the façades the type of descriptors in use are also summarized in figure 1 and can be grouped in two categories: indoor level parameters and level difference parameters. Unlike airborne, impact and equipment levels, façade requirements interact significantly with outdoor sound, so no matter which parameter is finally used to describe façade performance/requirements, it must consider in some way the outdoor sound level. Furthermore, some existing descriptors for façade insulation differ for external noise source spectra: different traffic noise (road, railway, aircraft) or loudspeaker generated noise, which makes the choice even more complicated.

As a preliminary agreement $D_{2m,nT,ls}$ (loudspeaker source) and some sort of *A traffic* weighting seems to be the preferred quantity. This quantity must somehow depend on outdoor level when establishing requirements for buildings.

Equipment Sound and Corresponding Frequency Range

Concerning equipment noise L_{eq} and L_{max} are the considered parameters. It was agreed to keep both parameters since together they can work for the subjective annoyance due to service equipment. The weak point of L_{eq} is to define which measurement periods and frequencies shall be used (besides the need for correction for background noise). For L_{max} it seems that $L_{max,fast}$ is more relevant to subject response, whereas $L_{max,slow}$ is less sensitive to irrelevant sound peaks.

Since the original intention of the project is to reduce and harmonize descriptors, it is suggested to use only $L_{\max, \text{Fast}}$ and L_{eq} depending on the type of sound source.

Parameters Translation

Assuming we could agree on which descriptors are more suitable to adequately assess acoustic performance of buildings and user satisfaction with them, the next question would be, for each country, to translate their actual requirements to the new agreed descriptor. This can be done based on approximate mathematical calculations or deriving translation curves based on large sets of measured data [2- COST-TU0901-WG1-N50; 3]. The best solution is to try to adjust both approaches, but still there is no full consensus on this item.

Before proposing a classification scheme, an agreed translation procedure should be established and all existing requirements should be translated to the new agreed parameters. This would for sure help legislators to understand how the change might affect their building codes, classifications schemes or any other related legislation in force.

Classification Schemes

As already mentioned, there are classification schemes in 11 countries in Europe and most of them are adopted as national standards [21]. These schemes vary concerning the number of classes, the steps between classes, the parameters used to determine the classes, the minimum values within each class... This great diversity makes an incredibly difficult task to try to propose a harmonized classification scheme. Nevertheless COST TU0901 has worked in this direction and there is an ongoing discussion about it. A draft proposal might be one of the outcomes of the Action.

Before designing an acoustic classification scheme which could be accepted by most European countries, it would be important to agree on a common answer to the following questions:

- Will the classification scheme grade each dwelling as a whole, or will it have different performance level depending on the noise source (airborne, impact, façade, equipment)?
- Is it possible to design a classification scheme when no formal agreement has been achieved concerning descriptors, assessment procedure and frequency range?
- Can the acoustical rating of the building vary with time (that is, can it depend on environmental noise, for example?)
- Should the acoustic rating of the building depend only on the building and not on outdoor sound level?
- Which descriptors should be taken into account: only airborne and impact? Also façades? Maybe also service equipment?
- What is the advantage of a 5 dB steps system compared to a 4 dB steps system?
- What should be the lowest value in the least performing class?
- Should there be an "extra low" class for refurbished older buildings, in case they are some day classified?

In a wide Europe where there are countries with no sound insulation requirements whatsoever (Macedonia) and where the existing legal requirements have a great span, it can happen that what is considered a minimum requirement in one country is absolutely unacceptable in another one...or that a "high performing building" in one country would be considered a "just performing" in another country. It is difficult to compare strictly, since each country uses a different parameter, but just as an example if we compare the minimum requirements in Spain and Austria, we can observe that the existing minimum requirements in Spain do not fulfill the minimum requirements in Austria by much (for impact). This is in fact a problem when trying to agree on a classification scheme, since it needs a wide span in values to be able to include all possible legal situations in Europe.

	SPAIN	AUSTRIA
AIRBORNE	$D_{nTA(100-5000Hz)} > 50$ dB	$D_{nT,w} > 55$ dB (approx $D_{nT,A} > 54$ dB if $C=-1$)
IMPACT	$L'_{nT,w} < 65$ dB	$L'_{nT,w} < 48$ dB

Table 12: Minimum requirements in two different European countries

It might seem politically “incorrect” to output a classification scheme and admit that each country sets the minimum requirement level in a different class, but it is possibly the only path to a future real harmonization of acoustic descriptors, requirements and performance in Europe. When writing this paper, there is a first draft of classification scheme being discussed within COST TU0901, but, as previously said, the task is difficult and in order to make a successful ending to the heavy work, it is important to give all member states a chance to comply with it. If the proposal is too ambitious it might happen that some countries may feel forced to ignore it since it will be simply impossible for them to adjust to it. Furthermore, the discussion should not be only restricted to the performance descriptors and their levels, but also on the procedures to obtain the sound classification and the choice of the samples to be tested. In order to avoid conflict and increasing lawsuits, it is important to define a clear procedure when performing the acoustic classification of a dwelling.

In Italy, for example, during the preparation of the classification scheme, most of the work was devoted to the definition of the procedures for the sampling choice and for the introduction of a sampling uncertainty [22, 23, 24]. The determination of the sound classes is based on the average values of the performance of all field measurements carried out on the various building elements (with reference to ISO 140 series standards). Classification can be based on the measurements of all measurable elements or of a number of elements through a sampling procedure; in the latter case the sampling uncertainty needs to be applied. For serial building, with repeated elements (such as particular kind of residential buildings with serial plan of dwellings), there is the possibility to carry out measurements on a limited number of these elements (samples). The sampling procedure, in the Italian system, involves the identification of homogeneous groups for each requirement, in terms of element type and dimensions, test rooms dimensions and installation techniques (Figure 1).

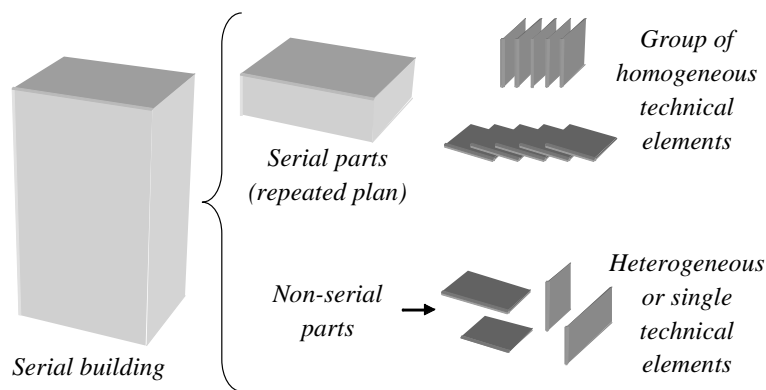


Figure 1 – Scheme of technical elements distribution for a serial building.

A homogeneous group is defined when the identity is verified for several aspects which could influence the measurement results. For example, for façade sound insulation: window/door type and configuration, total façade surface, volume and dimensions of the receiving room, windows/doors surface and dimensions, etc. 20% tolerance is allowed for building elements dimensions and rooms volume. Sample selection is based on the analysis of final construction

design and on the structures and technical specifications of service equipments. In case of residential buildings, homogeneous groups should be made with elements that belong to different dwellings. For every homogeneous group at least 10% of elements (with a minimum of 3 elements) are identified to carry out measurements. Then, the sampling uncertainty U_{sh} , which is related to the sampling standard deviation s_{sh} and the coverage factor k must be calculated. The coverage factor k depends on the confidence level and on the number of measurements; the standard fixed 3 confidence levels (70, 75 and 80 %). For each dwelling, each technical element belonging to a homogeneous group must be associated to the related representative value and the energetic mean, for each requirement, must be calculated between different homogeneous groups. After the application of the statistical procedure for each dwelling, the sound class is determined both for each requirement and as mean value. The application of the sampling procedure for serial buildings, with a large number of similar residential units (such as large residential areas with repeated buildings), this could strongly reduce the number of measurements. For non-serial buildings, with a large number of residential units whose building elements are not similar, the sampling procedure does not limit enough the number of measurements. Most part of Italian residential buildings have a small number of homogeneous technical elements and thus a high number of homogenous groups, with consequent high number of measurements. Moreover, in this case the statistical approach, used for the sampling uncertainty calculation, is not always reliable. For this reason, a new technical standard, which refers the procedure of the acoustic classification to non-serial buildings, was prepared and published [25].

SUMMARY

After four years of close cooperation with researchers from all over Europe in the field of building acoustics, the main conclusion is: this is not easy! This paper summarizes only a few of the many issues that have been discussed within the group. For a complete update, it is recommended to read the bibliography.

All TU0901 members agree that EU citizens must benefit from quieter homes and from harmonized description of the acoustic performance of their dwellings, but it is also foreseen that due to technical, social, cultural, constructive and economic factors, there must be a long transition period before we can live in a “harmonized building acoustics Europe”.

It is now the moment for the corresponding legislators to open the debate on *Building Acoustics European Policy* based on TU0901 outputs. All its work could be seen as the germ for a future “*EU Building Noise Directive*”.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to acknowledge the support from all COST Action TU0901 members, especially WG leaders and the Chair, Mrs. Birgit Rasmussen.

REFERENCES

- 1- <http://www.costtu0901.eu/>
- 2- COST-TU0901-WG1 internal documents (N-XX)
- 3- Rasmussen B., Rindel J.H.; Sound insulation between dwellings. Descriptors applied in building regulations in Europe, *Applied Acoustics*, 2010, 71, pp. 171-180.

- 4- Rasmussen, B.; Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe, *Applied Acoustics*, 2010, 71(4) , 373-385.
- 5- Rasmussen, B.; Sound insulation between Dwellings – Overview of the Variety of Descriptors and Requirements in Europe. *Forum Acusticum 2011*, Aalborg, Denmark, 2011.
- 6- Smith R.S., Wood J.B., Fausti P., Ingelaere B., "New buildings: design, technical solutions and acoustical performance in different countries". *Proceedings of European Symposium of EAA TC-RBA and COST Action TU0901*, Firenze, 14 Dicembre 2010, ISBN 978-88-88942-32-2.
- 7- Fausti P., Ingelaere B., Smith R.S., Steel C., "Common errors during construction of new buildings and effect of workmanship". *Proceedings of European Symposium of EAA TC-RBA and COST Action TU0901*, Firenze, 14 Dicembre 2010, ISBN 978-88-88942-32-2.
- 8- Fausti P., Cremonini R., (2009), Variability of results in acoustic measurements in buildings. *Proceedings of EURONOISE2009*, Edinburgh 26 – 28 October 2009, ISBN 1901656985.
- 9- Scholl, W., Lang, J., Wittstock, V.; Rating of Sound Insulation at Present and in Future. The Revision of ISO 717, *ActaAcustica united with Acustica*, 97, 686-698, 2011.
- 10- Bradley J.S; Evaluation of revised ISO airborne sound insulation ratings. *NRC Construction*, RR-330, 21 November 2012
- 11- Park HK, Bradley JS, Gover BN, Evaluating airborne sound insulation in terms of speech intelligibility, *J. Acoust. Soc. Am.* 123(3) 2008 1458-1471
- 12- Park, H.K., Bradley, J.S., Gover, B.N.; Rating airborne sound insulation in terms of the annoyance and loudness of transmitted speech and music sounds. *IRC Research Report DBR-RR-242*, NRC Canada, November, 2008
- 13- Rychtáriková M.; Müllner H.; Stani M.; Chmelík V.; Glorieux C.; Does the living noise spectrum adaptation of sound insulation match the subjective perception?; *Euronoise 2012*, Prague
- 14- Hongisto V.; Oliva D.; Keränen J.; Disturbance caused by airborne living sounds heard through walls – preliminary results of a laboratory experiment, *Internoise 2013*, Innsbruck
- 15- Hongisto V.; MäkiläM.; HaapakangasA.; Hakala J.; Hyönä J.; KylliäinenM.; Acoustic satisfaction in multi-storey buildings built after 1950 – preliminary results of a field survey, *Internoise 2013*, Innsbruck
- 16- Lang J.; Muellner H.; The importance of music as sound source in residential buildings, *Internoise 2013*, Innsbruck
- 17- Pedersoli S.; Machimbarrena M.; Rodrigues A. Monteiro C.; Posibles problemas asociados a la ampliación del rango de frecuencias para la evaluación del aislamiento a ruido aéreo in situ, *Tecniacústica 2013*, Valladolid.
- 18- Monteiro, C., Marino, C., Torchia, F., Nannipieri, E., Robertson, N., Smith, R. S., Machimbarrena, M.; Comparative analysis of airborne sound insulation field measurements using different ISO 717-1 performance descriptors - Lightweight separating walls and floors. *Euronoise 2012*, Prague
- 19- Scholl, W.: Why not use impact sound reduction indices instead of impact sound pressure levels? *ActaAcustica* 3, 2011
- 20- Ljunggren F.; Simmons C.; Hagberg K.; Correlation between sound insulation and occupants' perception – proposal of alternative single number rating of impact sound. *Internoise 2013*, Innsbruck
- 21- Rasmussen, B.; Sound Classification of Dwellings – Quality Class Ranges and Class Intervals in National Schemes in Europe; *EuroNoise 2012*, Prague, Czech Republic, 2012
- 22- UNI 11367:2010 - Acoustics in buildings - Acoustic classification of residential units - Field evaluation and verification (in Italian)

- 23- Cremonini R., Secchi S. and Fausti P., "The Italian standard UNI 11367 regarding the sound classification of single properties: overview of procedures". Proceedings of 2010 EAA Symposium on Harmonization of European Sound Insulation Descriptors and Classification Standards, Florence, (2010)
- 24- Di Bella A., Fausti P., Scamoni F., Secchi S., Italian experiences on acoustic classification of buildings, Proceedings of Inter Noise 2012, New York City, August 19-22, 2012; Copyright©2012,The Institute of Noise Control Engineering of the USA, Inc., Washington, DC.
- 25- UNI 11444:2012 - Acoustics in buildings - Acoustic classification of residential units - Guidelines for the selection of housing units in non-serial buildings (in Italian)

EN BUSCA DE UN MARCO COMÚN EUROPEO EN MATERIA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO EN VIVIENDAS: INTERCAMBIO DE EXPERIENCIAS Y DIFICULTAD DE CONSENSO

REFERENCIA PACS :Pacs: 43.15.-s; 43.50.Qp; 43.50.Rq; 43.50.Sr;

María Machimbarrena¹; Patrizio Fausti²

¹ Dpto. Física Aplicada
ETS Arquitectura
Av Salamanca s/n, 47014 Valladolid, Spain
mariao@opt.uva.es

² Engineering Department, University of Ferrara
Via Saragat 1, 44100 Ferrara (FE), Italy
patrizio.fausti@unife.it

RESUMEN

La Unión Europea nace para propiciar la integración y gobernanza en común de los estados y los pueblos de Europa. Además de crear un marco legislativo que asegure la libre circulación de ciudadanos, bienes, y servicios, se ha creado una política común en muchos otros aspectos tales como el mercado, la agricultura, la pesca... El ruido ambiental ha sido también abordado por la normativa europea y sería deseable que en algún momento se abordara el problema del ruido en las viviendas. Sin embargo no es fácil alcanzar un consenso por lo que respecta a los parámetros a utilizar para evaluar la calidad acústica de las viviendas o respecto a cómo crear una calificación acústica de viviendas que pudiera ser adoptada por todos los estados miembro. Este ha sido el objetivo perseguido desde COST TU0901 (<http://www.costtu0901.eu/>), que ha propiciado el marco adecuado para recoger una gran diversidad de puntos de vista, experiencias y datos no siempre concordantes, las cuales que se resumen a continuación.

ABSTRACT

The European Union was created to promote the integration and joint governance of the States and people in Europe. Besides creating a legislative framework to ensure the free movement of people, goods, and services, the EU has created a common policy in many other aspects such as marketing, agriculture, fishing ... Environmental noise problems have also been addressed by EU regulations and it would be convenient that, at some point, noise in dwellings becomes an issue. However it is not easy to reach a consensus regarding the parameters to be used to evaluate the acoustic quality of dwellings or on how to create an acoustic rating of dwellings that could be adopted by all member States. This has been the objective of COST TU0901 (<http://www.costtu0901.eu/>), which has provided the adequate framework for collecting a diversity of approaches, experiences and data which do not always agree and are summarized below.

ANTECEDENTES

La mayor parte de los países europeos tienen algún tipo de exigencia respecto al comportamiento acústico de los edificios, aunque estas exigencias varían mucho tanto en lo que respecta a los indicadores utilizados como a los límites establecidos. Actualmente once países Europeos cuentan con un sistema de clasificación acústica de edificios, pero ciertamente estos esquemas están lejos de ser parecidos. La gran variedad (indicadores, límites, tamaño de las clases, tipologías constructivas...) encontrada en los códigos de edificación y en los esquemas de clasificación acústica existentes, es un obstáculo para poder intercambiar experiencias, para el debido entendimiento de los legisladores de la UE, así como para el desarrollo y el comercio.

Se entiende que el nivel de exigencia/prestación debe ser establecido por cada uno de los estados miembro, sin embargo, si todos los países de la UE utilizaran los mismos indicadores y tuvieran criterios análogos para efectuar una clasificación acústica de edificios, sin duda todos los sectores afectados se verían beneficiados en el largo plazo: usuarios, fabricantes, legisladores, constructores...

La armonización de los descriptores y de los niveles de exigencia en las clases acústicas es muy necesaria para avanzar en la dirección adecuada y será bien recibida por la industria, los gobiernos y las instituciones científicas. La red Europea COST TU0901[1] ha trabajado durante los últimos cuatro años estimulando la investigación, recopilando experiencias de 29 países distintos e intentando encontrar una propuesta consensuada tanto para los descriptores que se deben utilizar en el campo de la acústica de edificios, como para la clasificación acústica de edificios.

La tarea no ha sido sencilla y de hecho no se ha llegado a alcanzar un consenso completo, dado que los problemas y soluciones en materia de acústica de edificios, no son los mismos en toda Europa. Sin embargo, sí se ha podido alcanzar algún tipo de consenso y se han producido discusiones muy interesantes que se exponen a continuación de forma resumida.

INTERCAMBIO DE EXPERIENCIAS

Recopilación de Información Sobre el Uso de Descriptores y Esquemas de Clasificación Acústica

El punto de partida de la red de trabajo consistió en recopilar información sobre los parámetros utilizados en cada país, la existencia o no de códigos de edificación que incluyeran exigencias acústicas y la existencia de esquemas de clasificación acústica de edificios. Las tablas 1 a 3 muestran un resumen de los datos recopilados [2].

Update 2010	Austria	Belgium	Denmark	Estonia	Finland	France	Germany	Hungary	Iceland	Italy	Lithuania	Netherlands	Norway	Poland	Portugal	Romania	Spain	Sweden	Switzerland	UK
Airborne	A	B	DK	EE	FIN	F	D	H	IS	I	LT	NL	N	PL	PT	RO	E	S	CH	GB
Rw			x	x	x		x		x	x	x		x			x				
Rw+C								x						x						
Rw+C50-3150			x	x					x		x							x		
Rw+C100-5000																				
Rw+C50-5000																				
Dn,w																				
Dn,w+C																				
Dn,w+C50-3150																				
Dn,w+C100-5000																				
Dn,w+C50-5000																				
DnT,w	x	x									x				x					
DnT,w+C						x					x				x					x
DnT,w+C50-3150																				
DnT,w+C100-5000											x									
DnT,w+C50-5000																				
DnT,w+Ctr100-3150																				x
Impact	A	B	DK	EE	FIN	F	D	H	IS	I	LT	NL	N	PL	PT	RO	E	S	CH	GB
Ln,w			x	x	x		x	x	x	x	x		x	x		x			x	
Ln,w+Ci																				
Ln,w+Ci,50-2500			x	x					x											
LnT,w	x	x				x											x			x
LnT,w+Ci																				
LnT,w+Ci,50-2500																				
Façade	A	B	DK	EE	FIN	F	D	H	IS	I	LT	NL	N	PL	PT	RO	E	S	CH	GB
Rw	x						x													
Rw + Ctr	x				x			x							x					
DnT,2m,w										x	x				x					
DnT,2m,w + Ctr		x				x						x			x					x
Lden/24h			x	x																
Lnight			x	x																
Lmax																				
Equipment	A	B	DK	EE	FIN	F	D	H	IS	I	LT	NL	N	PL	PT	RO	E	S	CH	GB
dBA-eq	x	x	x	X >63	X >20	X >100		X +C	x	X >63	X >63	X >63	X >63	X	X +C	x				X >100
dB A-maxS																				
dB A-maxF		x		X >63	X >20		X >100		x	X >63	X >63	X >63	X >63	x					x	
dB C-eq	x			X >64					x											
dB C-maxF													X >63							
Classifications	A	B	DK	EE	FIN	F	D	H	IS	I	LT	NL	N	PL	PT	RO	E	S	CH	GB
classes	x		x		x		x		x	x	x	x	x	x					x	x
low frequencies	(x)		(x)						(x)		(x)								(x)	

Tabla 1: Resumen de parámetros y clasificaciones existentes [2-COST-TU0901-WG1-N12]

Si se consulta la literatura, se constata que no sólo se utilizan muy diversos indicadores, sino que además el nivel de exigencia varía mucho en toda Europa. [3,4,5].

Airborne sound between dwellings		n=11					
Country	Quantity	class1	class2	class3	class4	class5	generals remarks
NL	D _{nT,A}	62	57	52	47	42	other enclosed spaces than rooms: 5 dB less stringent for all
AT	D _{nT,w}			55	50		rowhouses 5 dB more stringent
	D _{nT,w} +C ₅₀₋₃₁₅₀	60	55				
LT	D _{nT,w} +C ₅₀₋₃₁₅₀	63	58	-	-	-	also for Rw+C ₅₀₋₃₁₅₀
	D _{n,T,w} or R _w	-	-	55	52	48	
BE	D _{nT,w}	62	58				Standard NBN S01-400-1:2008
	D _{nT,w} +C ₅₀	58	54				version 2013
SE	D _{nTw} +C ₅₀₋₃₁₅₀	61	57	53			volume restriction so actually DnTw+C
	R' _w				49		
CZ	R' _w , D _{nT,w}		59	55	53		
IT	R' _w		56	53	50	45	Min. requirements depend on the intended use of buildings (*)
IS	R' _w			55	50		D _{n,w} is used when the area of the
	R _w +C ₅₀₋₃₁₅₀	63	58	53			is less than 10 m ²
PL	R _w +C ₅₀₋₃₁₅₀	59	56	53	50		S<10: DnTw+C, level 1 dB higher
DK	R _w + C ₅₀₋₃₁₅₀	63	58				
	R' _w			55	50		
NO	R' _w	63	58	55	50		If the common partition is less than 10 m ² , S =10 m ² .

Tabla 2: Resumen de los parámetros y valores límite empleados en los sistemas de clasificación acústica - aislamiento a ruido aéreo. [2-COST-TU0901-WG1-N34]

impact insulation classification		n=11						
Country	Quantity	class1	class2	class3	class4	class5	class6	generals remarks
NL	$L_{nT,A}$	43	48	53	58	63		stairs 5 dB more stringent
AT	$L'_{nT,w}$	38	43	48	53			rowhouses 5 dN more stringent
	$L_{nT,w}+C_{1,50-2500}$	43	43					in combination with $L_{nT,w}$ req
LT	$L_{n,w}+C_{1,50-2500}$	43	48	-	-	-		
	$L_{n,w}$	-	-	53	58	60		
BE	$L_{nT,w}$			50	58			
SE	$L'_{nT,w}+C_{1,50-2500}$		48	52	56			$L_{nT,w}$?
	$L'_{n,w}$					60		
CZ	$L'_{n,w}, L'_{nT,w}$	42	48					
IT	$L'_{n,w}$			53	58	63	68	
IS	$L'_{n,w}$			53	58			
	$L'_{n,w}+C_{1,50-250}$	43	48	53				
PL	$L'_{n,w}$	43	48	53	57			
DK	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	43	48					
	$L_{n,w}$	43	48	53	58			
NO	$L_{n,w}$	43	48	53	58			

Tabla 3: Resumen de los parámetros y valores límite empleados en los sistemas de clasificación acústica – nivel de ruido de impacto. [2- COST-TU0901-WG1-N34]

El siguiente paso fue recoger las ventajas e inconvenientes de los indicadores comúnmente utilizados así como la opinión sobre la idoneidad de los indicadores basada en la experiencia de cada país. A pesar de intentar mantener la objetividad y los criterios de base científica en la argumentación, es extremadamente complejo llegar a un acuerdo sobre “qué sería lo mejor”. Todos los miembros del COST TU0901 fueron preguntados sobre las ventajas e inconvenientes de los descriptores (propuestos y existentes). Se preguntó por:

- métodos de evaluación y rango de frecuencias a utilizar;
- métodos de medida en término de reproducibilidad complejidad, tiempo empleado...;
- relación entre el descriptor y la percepción subjetiva del usuario;
- comparación con magnitudes medidas en laboratorio;
- otros aspectos de orden práctico, económico o de cualquier otro tipo que pudieran ser de interés;

Las tablas 4 a 7 muestran un resumen de las ventajas e inconvenientes encontradas como punto de partida. A partir de aquí se inició el auténtico debate. Los aspectos más controvertidos se exponen a continuación..

Quantity	D_{nT}	R'
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> - good relation to the subjective response (11) - also for rooms not adjacent or small area (6) - no need to determine room volume (6) - easy to use, simple to explain (2) - well-established in regulations in whole world - correct sound insulation vertical vs horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> - is related to the construction itself (3) - product data are available (3). - robust measure, long experience (2) - easier to use in building planning process (2) - well-established in regulations in whole world (2). - no dependence on direction and room size - does not require reference T_0 - in laboratory it is ok.
Disadvantage	<ul style="list-style-type: none"> - is depending on room size and direction (2) - more difficult to use by architect (2) - large rooms, results tend to overestimate (2) - difficult to compare measurement with requirements - average field data can be biased due to inclusion of atypical volumes - not suitable for evaluation of partition transmission loss. - is 0,5 s correct for low frequencies? 	<ul style="list-style-type: none"> - does not correspond to what people hear (5) - needs volume and area, often not clear defined (4) - in-situ flanking constructions influence the result - it does not consider different room shapes enough - confusion between element and in-situ property - in the field it creates numerous problem.

Quantity	L_{nT}	L'_n
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> - good relation to the subjective response (4) - no need to determine room volume (4) - easy to use, simple to explain - well-established in regulations in whole world - correct sound insulation vertical vs horizontal - good solution for control spectrum 	<ul style="list-style-type: none"> - good for small and normal rooms - room absorption taken into account - product data are available - easier to use in building planning process - does not require reference T_0 - in laboratory it is ok.
Disadvantage	<ul style="list-style-type: none"> - large rooms, results tend to overestimate (2) - lack of direct relation with product data - is 0,5 s correct for low frequencies? - problems in case differences between reference value and real T_{60} - difficult to transfer lab data to in-situ data 	<ul style="list-style-type: none"> - Confusion between element and in-situ properties - needs volume and area, often not clear defined (2) - confusion between element and in-situ property - in the field it creates numerous problem. - not advisable with large rooms because of the standardization to equivalent absorption area.

Quantity	$D_{2m,nT}$	R' (R'_{45}/R'_{tr})	L_{indoor} (any of them)
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> - all $D_{2m,nT}$ are preferred to estimate global façade performance including flanking transmissions. - $D_{2m,nT}$ directly relates outdoor and indoor level - Easy to measure, no need to determine room volume and joint face. - Loudspeaker as source is preferred for S/N (Signal-to-Noise ratio) and repeatability reasons - D (compared to R) is more directly comparable to quantity adopted as acoustic classification of building facades 	<ul style="list-style-type: none"> - Both R' are preferred when comparing with element laboratory performances 	<ul style="list-style-type: none"> - Related to the perception of the sound source: directly related to real external noise levels - More related to user annoyance and subjective assessment - Directly related to the inner noise environment
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> - D_{tr} has different measuring methods related to different traffic sources, has low repeatability and suffers from low S/N (Signal-to-Noise ratio) - $D_{tr,2m,nT}$ needs more investigation about microphone positions (balcony, patio, loggia, roofs) 	<ul style="list-style-type: none"> - R'_{45} and R'_{tr} give in some cases different results - Measurement procedure for R'_{tr} quite complicated - Facade shape not taken into account; difficult to accurate measure with balconies etc. - Related to the perception of the sound source: Less correlated with perceived level difference, 	<ul style="list-style-type: none"> - Not directly related to the acoustical properties of the facade constructions - Depending on both facade properties and outdoor noise, not on a building product

Tabla 4: Ventajas e inconvenientes de los descriptores más comúnmente usados. [COST-TU0901-WG1-N13 and N15]

Assessment	A (A-weighted traffic or other source spectrum)	w (curve shifting method)
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> - correspond better with real situation, annoyance (5). - easy to explain and calculate (2) - system can be the same for all aspects, only different source spectrum (2) - facilitates uncertainty calculations - allows quick calculation of A-weighted levels 	<ul style="list-style-type: none"> - used since 40 years all over the world (3) - simple and easy-to-communicate number (2) - independent of the source spectrum - allows quick calculation of A-weighted levels and provides link to manufacturers data
Disadvantage	<ul style="list-style-type: none"> - varies with type of source spectrum. - a single spectrum not representative for all 'living' noise - A-weighting not well related to the subjective estimation of a sound, loud noise or low frequency noise 	<ul style="list-style-type: none"> - has to be enlarged to 50 Hz for annoyance (5) - too complex determination method (2) - not adequate without spectrum adaptation terms (2) - not adequate for deficiencies, coincidence (2) - less correlated with perceived level difference (2) - adding and subtracting elements or transmission path is not exact - one curve not adequate for all constructions

Tabla 5: Ventajas e inconvenientes de los métodos de evaluación del ruido aéreo. [COST-TU0901-WG1-N13]

Assessment	A (A-weighted traffic or other source spectrum)	w (curve shifting method)
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> - correspond better with real situation, annoyance (4). - easy to explain and calculate (2) - system can be the same for all aspects, only adequate transfer function (tapping machine) (2) - facilitates uncertainty calculations - very important problem in dwellings with floors covered with panels! (?) 	<ul style="list-style-type: none"> - used since 40 years all over the world (3) - simple and easy-to-communicate number (2) - independent of the source spectrum - allows quick calculation of A-weighted levels and provides link to manufacturers data
Disadvantage	<ul style="list-style-type: none"> - no good descriptor for walking spectrum - varies with type of source spectrum - does not cover all "impact" sources 	<ul style="list-style-type: none"> - has to be enlarged to 50 Hz for annoyance (2) - too complex determination method (2) - the shape of existing reference curve in low frequencies range seems to be not fitting to subjective evaluation(2) - in large rooms it is almost impossible to fulfil requirements - does not cover all "impact" sources

Tabla 6: Ventajas e inconvenientes de los métodos de evaluación del ruido de impacto. [COST-TU0901-WG1-N13]

Assessment	"Source weighting"	Reference curve (w)
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> -Good correlation with perceived level difference, allowing source spectrum to be assigned -A traffic preferred for façade, since traffic is the major noise source problem -assessment easy to explain and easy to calculate 	<ul style="list-style-type: none"> - $D_{n,w} + C$ or C_{tr} seem have good reproducibility - Independent of the source spectrum - For R' the w method allows comparison with R_w from lab
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> -Varies with type of source spectrum 	<ul style="list-style-type: none"> - Less correlated with perceived level difference. - Not suitable for source spectrum rich in low frequencies, requiring adaptation terms - The correction with spectrum adaptation terms seems to be too complicated

Tabla 7: Ventajas e inconvenientes de los métodos de evaluación para fachadas. [COST-TU0901-WG1-N15]

Recopilación de Información Sobre el Diseño y Comportamiento Acústico de las Soluciones Constructivas Usadas en Edificación Residencial

La racionalización de los descriptores de aislamiento es también uno de los objetivos en los que actualmente trabajan los órganos de normalización Europeos e Internacionales (particularmente CEN/TC 126 and ISO/TC43/SC2). Esta armonización y reducción de parámetros existentes podría facilitar el intercambio de datos relativos al comportamiento acústico (aislamiento) de los elementos y sistemas constructivos de unos países a otros y así promover la comercialización y venta tanto de elementos, como de soluciones constructivas y construcciones propiamente dichas.

Es por esto que otra de las actividades desarrolladas en el ámbito de COST TU0901 se ha centrado en la recopilación y discusión sobre detalles constructivos y datos de aislamiento para particiones horizontales y verticales en todos los países participantes. El objetivo es poder elaborar una base de datos Europea que incluya tanto soluciones tradicionales como soluciones innovadoras "robustas" para edificios de nueva construcción y para mejorar el aislamiento de los ya existentes. Además, la recopilación y análisis de los errores de diseño encontrados y de los errores de ejecución conllevará una transferencia de conocimiento a profesionales "no acústicos" con la consecuente mejora de la calidad de las edificaciones al poder usar de forma óptima los materiales existentes, las tecnologías y beneficiarse de la experiencia de otros países. La información recopilada ha sido:

- Información general sobre el parque de viviendas (stock y población total; proporción de apartamentos (pisos), adosados, pareados y viviendas unifamiliares; cantidad de viviendas construidas por año, etc)
- Vivienda existente (período de construcción, descripción, tipología de los elementos de separación y comportamiento acústico de los mismos, métodos para mejorar el aislamiento acústico, características importantes en obras de mejora, etc)
- Vivienda de nueva construcción (construcciones ligeras/pesadas, aislamiento típico de las soluciones empleadas, detalles constructivos, uniones, errores típicos de diseño y ejecución)
- Procedimientos (check lists, incertidumbre en las medidas, control de quejas, etc)

La recogida de los datos aún no se ha completado; hasta el momento un promedio de 12 a 13 países han presentado cierta información para todos los puntos anteriormente mencionados. Esto constituye un primer paso en la preparación de una base de datos con la cual compartir información, tecnología, prestaciones y procedimientos con el fin de mejorar el proceso para obtener una vivienda de calidad y sostenible. Así mismo se ha propuesto que cada país prepare un capítulo que resuma e incluya la información recogida. La contribución de cada país será diferente dependiendo de la normativa de aislamiento acústico que exista o haya existido, y de la información disponible respecto a técnicas de construcción y a datos de aislamiento acústico. En última instancia, toda la información recopilada (incluyendo detalles constructivos de soluciones constructivas comúnmente utilizadas en Europa) estará disponible online como fruto del trabajo de cooperación y networking desarrollado en el seno del COST TU0901.

La población de los países europeos que participan en COST oscila desde un mínimo de 0,33 (Islandia) hasta 82 millones (Alemania), con una densidad de población (habitantes/km²) de 3 (Islandia) a 400 (Países Bajos). El total de viviendas en cada país varía entre 0,14 y 39 millones y el porcentaje de construcciones no en altura – torres - (incluyendo pareados, adosados y aislados) sobre el total del parque de viviendas varía desde 32% hasta 86%, con un promedio del 62%. Vistas estas cifras es evidente que las exigencias de aislamiento acústico en viviendas son de gran importancia para la calidad de vida de los ciudadanos/habitantes.

Un aspecto a tener en cuenta es que en Europa no existe un elemento o solución constructiva estructural tipo, especialmente en lo que respecta a construcciones adosadas/pareadas. Se puede encontrar una clasificación simplificada en [6] junto con una descripción de diversos tipos de paredes de ladrillo y hormigón, forjados de viguetas, bovedillas y hormigonado in situ y paredes y forjados ligeros y de madera.

Por otra parte, los sistemas de construcción se han ido modificando a lo largo del tiempo y en muchos países Europeos se trabaja cada vez más con sistemas prefabricados, construcción off-site y aplicando la idea de “lean construction” o la gestión eficiente aplicada al proceso de construcción. En los últimos años, el aumento de las exigencias térmicas y de sostenibilidad ha marcado así mismo el aumento del uso de estructuras modulares, ligeras y de madera.

A modo de ejemplo si se comparan paredes separadoras típicas construidas con ladrillo macizo, perforado, bloques de hormigón prefabricado u hormigonado in situ se observa que el ancho de las paredes analizadas oscila entre 240mm y 370mm y el aislamiento $D_{nT,w}$ entre 50 dB y 61 dB. El comportamiento acústico de este tipo de paredes no se corresponde siempre con su densidad superficial de masa, principalmente debido a las transmisiones por flancos a través de las uniones con las paredes laterales. Al inspeccionar los diseños suministrados por los distintos países se ha observado que hay una gran variedad de soluciones alternativas utilizadas para evitar las transmisiones por flancos en las uniones “pared-suelo” y “pared-pared lateral”. Con el fin de proporcionar soluciones “acústicamente robustas”, es igualmente importante conocer los posibles efectos de buenas y malas prácticas constructivas.

Por tanto, en la etapa de diseño hay que definir y elegir las soluciones técnicas que mejor aseguren un buen diseño acústico, pero es igualmente importante que los detalles y procedimientos de construcción sean fáciles de entender y aplicar. Además, al efectuar modificaciones no acústicas no se puede ignorar los posibles efectos de éstas sobre el comportamiento acústico de una solución

Otro aspecto a tener en cuenta es que las paredes no se construyen exactamente igual en laboratorio e in situ, lo cual puede conllevar a resultados diferentes de los que se obtienen usando los datos de laboratorio en modelos de cálculo. Por eso es importante comprobar que la solución técnica elegida en la fase de diseño se corresponde exactamente con la que se construye.

Por lo que respecta a los errores de diseño recopilados de los distintos países Europeos, a parte de algunos errores típicos que se repiten sistemáticamente en varios países, existen diferencias que dependen de la tradición y la costumbre a la hora de tratar con las exigencias acústicas. En muchos países no se tiene en cuenta la acústica en la fase de diseño, por lo cual la elección de soluciones constructivas resulta por debajo de las exigencias acústicas... en otros países una pequeña variación en la frecuencia de resonancia o en la forma de desconectar elementos se consideran errores de diseño.

La información recogida respecto a errores de ejecución muestra que la mayor parte de los problemas se deben a que el contratista o el constructor (jefe de obra) no entienden los conceptos básicos y por tanto no se ajusta a las indicaciones recibidas. Las tablas 8 a 11 resumen los errores típicos de diseño y ejecución reportados por los países consultados [7], [1].

<i>Descripción de errores</i>
Adyacencia entre un recinto ruidoso (cocina con sala de estar, WC) y un recinto protegido (dormitorio o salón)
Localización de locales de actividad nocturna ruidosos en la planta baja de un edificio residencial
Prestación acústica de la solución constructiva elegida inferior a las exigencias
Escasa definición a nivel de diseño de materiales a emplear (densidad de los bloques, forma...) o falta de información en los detalles constructivos acerca de uniones entre elementos separadores y elementos de flanco (forjados, paredes, fachadas....)
Error de dimensionado de las vigas del forjado superior a las paredes separadoras.
Uso de recubrimiento térmico sobre una pared de hormigón entre una sala con calefacción y una sala no calefactada, provocando una frecuencia de resonancia del sistema masa-muelle-masa.
Mala resolución de la unión en T entre un elemento separador interno y la hoja interior de una fachada de doble hoja de fábrica.
En las plantas bajo cubierta, mala resolución del desacoplamiento entre la cubierta (ventilada y no ventilada) y las paredes separadoras.
Uso de techos formados por una capa flexible sobre lana mineral con el fin de aumentar el aislamiento a ruido aéreo, o a impacto si es en suelos, puede hacer que el aislamiento disminuya en el rango de 50 -80 Hz, si la resonancia de la capa flexible está en ese rango, lo cual puede conllevar quejas.
Falta de mortero de relleno en las uniones verticales entre bloques en paredes que requieren un perfecto sellado de las juntas verticales.
Capas de guarnecido y enlucido insuficientes (incumpliendo las instrucciones del productor)
Rendijas en la parte superior de la pared de ladrillo o fisuras en la pared (fugas acústicas)
Elementos auxiliares o de servicio dispuestos simétricamente a ambos lados de la pared (interruptores, conductos de ventilación...) y no escalonados.
Conductos de ventilación montados en contacto con otros o como un único conducto común para varios pisos reduciendo el aislamiento entre viviendas situadas en distintos pisos.
Transmisión por flanco a través de la placa de yeso pasante de una vivienda a otra (la hoja interior de la pared externa puentea ambas hojas de una pared doble y se reduce su rendimiento acústico)
Cámara de aire no completamente rellena de material absorbente.

Realización de rozas para conductos o elementos auxiliares que rompen el material aislante dentro de la cámara de aire: el relleno de mortero puede producir un puente entre las dos hojas de la partición
Patinillos para instalaciones comunitarias no correctamente rellenos con mortero.
En una fachada de doble hoja de fábrica, falta de enfoscado en la cara interior de la hoja principal cuando prescrito en las soluciones constructivas elegidas.
Incorrecta colocación de las bandas elásticas en la cima de las paredes dobles. Presencia de puentes acústicos de yeso entre paredes y techos.
Uso de banda elástica inadecuada como aislante en las uniones entre paredes de tipo pesado y suelos (riesgo de aplastamiento de la banda elástica)
Unión rígida entre paredes concebidas como paredes desacopladas (el contratista no entiende las razones de la elección)
Fugas a través de la cámara de aire si en las uniones entre elementos constructivos (y con presencia de ventanas) se emplean paneles rígidos en lugar de material aislante flexible
Continuidad entre cimientos y primer forjado sin presencia de una capa resiliente (error de diseño si se requieren altos valores de aislamiento acústico)
Colocación de las instalaciones (fontanería, saneamiento y climatización) en paredes separadoras entre viviendas unifamiliares
Uso de forjados de madera con paredes de mampostería: la conexión entre dos estructuras que no tienen compatibilidad técnica para el aislamiento acústico conduce a una excesiva transmisión por flancos comportando una reducción del aislamiento aéreo de entre 10 y 15 dB
En una pared de doble hoja, caída de mortero en la base de la cámara de aire creando un fuerte puente acústico.

Tabla 8 – Ejemplos de errores constructivos para aislamiento aéreo entre viviendas

<i>Descripción de errores</i>
Colocación de espacios habitables como salas de estar y dormitorios en el lado frente a las fuentes de ruido (calles ruidosas, autovías...)
Transmisión de ruido a través de aireadores sin tratamiento acústico.
Puertas y ventanas no ajustadas o mal ajustadas
En caso de empleo de persianas enrollables: abertura entre persiana y pared externa demasiado amplia y/o falta de cepillo entre persiana y pared
En caso de empleo de persianas enrollables: paredes del cajón exterior demasiado ligeras, ausencia de material absorbente dentro del cajón o cajón empotrado en la pared
En caso de empleo de persianas enrollables: cajón exterior con una incorrecta conexión con la pared (presencia de huecos entre cajón y pared)
Falta de estanqueidad entre marcos y contramarcos de la carpintería en zonas ocultas por los perfiles
Falta de mortero entre paredes y contramarcos de la carpintería en zonas ocultas por los perfiles
Contramarco internamente vacío (falta de espuma o aislantes acústicos)
Aéreas de contacto entre ventana y contraventanas selladas de manera no adecuada

Tabla 9 – Ejemplos de errores constructivos para aislamiento de fachadas

<i>Descripción de errores</i>
Falta de suelo flotante en viviendas adosadas (este error puede llevar a una muy mala prestación en el aislamiento a ruido de impacto horizontalmente)
Aislante a ruido de impacto en el suelo flotante insuficiente o montado incorrectamente
Masa del forjado/estructura no suficientes (con suelo flotante o registrable)
Rodapié directamente en contacto con el suelo cerámico
Baldosas cerámicas en contacto directo con las paredes
Perímetro de las bandas elásticas no adecuadamente adherido a las paredes causando la consiguiente presencia de mortero entre bandas y paredes
Perímetro de las bandas elásticas demasiado corto o cortado antes de la colocación de los suelos de cerámica
Perímetro discontinuo de las bandas elásticas, especialmente en las esquinas

Unión rígida entre las baldosas de cerámica y el mortero colocado sobre la cama de arena con el umbral de la puerta ventana
Falta de separación estructural entre la capa de mortero flotante y las puertas de las habitaciones
Superficie del suelo por debajo de la capa de material elástico no perfectamente plano o no limpio del todo (presencia de trozos de ladrillos, acero, cables...)
Estructura de las escaleras no separada de la pared de las habitaciones (ruido de impacto desde la escalera de acceso a las viviendas)
Cortes en el material elástico del suelo flotante
Presencia de tuberías no totalmente embebidas en el mortero aligerado (bajo el material elástico)
Problemas con los suelos de los baños (suelos y paredes con baldosas cerámicas)
Insuficiente aislamiento proporcionado por la cama de arena/cemento a las tuberías de calefacción o incorrecta fijación de los elementos de calefacción (puentes sonoros entre solado y forjado reducen el aislamiento a impacto)
Fijación incorrecta de la barra elástica con tornillos de fijación de techo (los tornillos no deben tocar las vigas)
Incorrecta instalación del falso techo causando puentes acústicos (reducido efecto del montaje elástico)

Tabla 10 – T Ejemplos de errores constructivos para aislamiento al impacto

<i>Descripción de errores</i>
Instalaciones de baños y cocinas colocadas adyacentes a los dormitorios
Colocación del hueco del ascensor cerca de dormitorios
Tuberías de agua residual embebidas en el mortero: la falta de material de aislamiento acústico alrededor de los tubos próximos al suelo, paredes o al lado de otras tuberías
Tuberías sin aislamiento acústico a su alrededor (puentes acústicos)
Rozas en el aislante acústico que rodea las tuberías especialmente en las zonas enfrentadas a otras tuberías
Conexión entre tuberías de aguas residuales y paredes realizado con anclajes rígidos (abrazaderas de fijación)
Codos de tuberías de saneamiento sin revestimiento de aislante acústico
Falta de material fonoabsorbente en los patinillos de instalaciones
Codos de 90° de las tuberías de saneamiento en el sótano

Tabla 11 – Ejemplos de errores constructivos para instalaciones

Dada la gran cantidad de errores de diseño y ejecución observados, es necesario tener esto en cuenta, pues es así mismo una fuente importante de variabilidad del aislamiento resultante. La incertidumbre asociada a las condiciones de montaje y el efecto de los errores de ejecución depende así mismo del tipo de construcción y para poder evaluarla es preciso efectuar un número muy elevado de ensayos in situ y posterior análisis de los datos

Para poder evitar muchos de estos errores y así proporcionar soluciones acústicamente robustas que alcancen los valores de aislamiento esperados se recomienda el uso de checklists. Varios países como España, Bélgica y UK cuentan con checklists pero los procedimientos de uso no son obligatorios. Otros países como Rumanía, Eslovenia o Suecia cuentan con procedimientos específicos para realizar verificaciones in situ y comprobar la documentación. En Holanda cuentan con una “attention list” (cosas a las que hay que prestar atención) y Suiza tiene un checklist para equipos/instalaciones pero sólo para un determinado etiquetado privado (Minergie). En Italia, los valores exigidos son obligatorios, mientras que los procedimientos a seguir para poder cumplir son voluntarios o dependen de la normativa regional o municipal.

DIFICULTADES PARA ENCONTRAR UN CONSENSO

Evaluación del Aislamiento a Ruido Aéreo y Rango de Frecuencias a Utilizar

Para el aislamiento a ruido aéreo se ha acordado usar el descriptor D_{nT} y el método de evaluación preferido es cualquier tipo de “ponderación A”. El asunto más controvertido sigue siendo el rango de frecuencias a emplear a la hora de determinar un valor único y si conviene que existan distintos valores únicos que suministren información sobre el comportamiento del cerramiento respecto a ciertas fuentes de ruido concretas tales como ruidos habituales en viviendas, tráfico o conversaciones [9-12].

El objetivo es proponer una o varias curvas de ponderación que estén altamente correlacionadas con la molestia percibida en función de la fuente de ruido, pero a pesar de las propuestas existentes, el debate sigue abierto y no se ha alcanzado un consenso de momento [13-18].

Aunque es comúnmente aceptado que las frecuencias por debajo de 100 Hz pueden llegar a ser molestas para el usuario de una vivienda, sin embargo todavía no se ha alcanzado un acuerdo sobre cómo tenerlas en cuenta puesto que tanto los procedimientos de medida como la incertidumbre asociada a las medidas a bajas frecuencias siguen siendo objeto de debate. Es más, la mayor parte de los países Europeos hasta ahora nunca han incluido las bandas de tercio de octava inferiores (50, 63 y 80 Hz) en sus medidas y preferirían contar con un periodo de transición suficientemente largo antes de incluir dichas bandas en sus correspondientes normativas.

Por otra parte, las técnicas constructivas varían considerablemente en Europa y el problema a bajas frecuencias (especialmente para ruido aéreo) parece ser más propio de las soluciones ligeras que de las pesadas, lo cual a la postre afecta a la capacidad de los fabricantes para comercializar sus productos. Si se incluyen las bandas de tercio de octava inferiores en el cálculo de los valores únicos, todos los productos de construcción con prestaciones acústicas deberán ser caracterizados de forma que incluyan información en ese rango de frecuencias. Y eso sin tener en cuenta que será necesario adoptar nuevos procedimientos de medida.

Las consecuencias positivas de aumentar el rango de frecuencias (protección y satisfacción del usuario) conllevan costes elevados y cambios importantes en la legislación en muchos países; Sea cual sea la propuesta final, será necesario disponer de un periodo transitorio suficientemente largo con el fin de dar tiempo a los países sin experiencia previa a bajas frecuencias (o incluso sin legislación alguna en materia de aislamiento en los edificios) para implementar la propuesta sin provocar efectos colaterales en el ya maltrecho sector de la construcción.

Ruido de Impacto y Rango de Frecuencias a Utilizar

Para evaluar el comportamiento de un forjado frente a ruido de impacto siempre se ha utilizado el nivel sonoro en la sala receptora como descriptor, por tanto cuando mayor es el descriptor, peor es el comportamiento aislante del forjado respecto al ruido de impacto. Este tipo de relación “inversa” entre rendimiento y parámetro es sobradamente conocido por los consultores acústicos pero no es intuitivo y es menos fácil de entender por el usuario final o por los demás sectores implicados en el proceso de la construcción. El grupo de trabajo de COST ha optado por mantener este parámetro (nivel en la sala receptora) como magnitud a medir, pero utilizando el método de comparación con una curva de referencia (ISO 717-2) para obtener el correspondiente valor único $L_{nT,w}$. Por otra parte, el grupo de trabajo correspondiente en ISO ha lanzado una propuesta novedosa y sugiere el uso de un descriptor global (valor único) completamente nuevo, que se calcularía de forma análoga al aislamiento a ruido aéreo,

utilizando una curva de ponderación específica para ruido de impacto [19]. Con este nuevo método se obtendría un valor único para aislamiento a ruido de impacto que sería fácilmente inteligible por usuarios no experimentados en el campo de la acústica de edificios. Desafortunadamente por el momento no hay acuerdo sobre qué planteamiento es el más adecuado, teniendo en cuenta no sólo la sencillez del método propuesto sino el respaldo científico del mismo, por lo que, a fecha de hoy, se mantiene $L_{nT,w}$ como parámetro de evaluación del comportamiento de un forjado frente a ruido de impacto..

Al margen de que existe un debate análogo al suscitado para la evaluación del aislamiento a ruido aéreo (métodos de medida, diferencias constructivas, diferencias entre países...), también se debate en este momento (en el ámbito de COST y de ISO) el uso del término de adaptación espectral C_1 y el correspondiente rango de frecuencias a utilizar en su cálculo. De hecho hay publicaciones recientes que indican la conveniencia de medir hasta los 20 Hz, especialmente en el caso de estructuras ligeras [20].

El uso del término adaptación C_1 a baja frecuencia puede empeorar el resultado del forjado frente al ruido de impacto, en aquellos casos en que la contribución a bajas frecuencias sea muy alta. Esto se da principalmente en suelos ligeros de madera. A la vista de estos resultados ha surgido el debate acerca de la molestia que realmente producen los ruidos de baja frecuencia y la discusión a favor y en contra de la molestia a baja frecuencia ha enmascarado otro problema que aparece cuando la medida del nivel de ruido de impacto muestra componentes fuertes a frecuencias media y altas. En este caso el efecto del término de adaptación C_1 se traduce en una mejora de los resultados del forjado, lo cual tampoco es deseable. Esta situación es más propia, por ejemplo, de forjados pesados con suelo flotante y acabado cerámico en los que se ha producido algún error de diseño o de ejecución. El uso de C_1 , especialmente si el rango superior de frecuencias es 2500 Hz, hace que sea muy difícil detectar y por tanto rechazar construcciones defectuosas en este sentido. En este tipo de construcciones (pesada con suelo flotante) las bajas frecuencias no suelen ser un problema debido a la masa de las estructuras, mientras que las frecuencias excitadas por el impacto de objetos duros sobre un suelo cerámico (medias/altas) como puede ser la caída de un objeto o el movimiento de sillas y mesas, se considera altamente molesto.

Fachadas y Rango de Frecuencias Correspondiente.

Los parámetros utilizados en Europa para describir el aislamiento de una fachada se resumen en la figura 1 y se pueden calificar en dos grupos: niveles de ruido en el interior de la vivienda y diferencias de niveles. Las prestaciones acústicas de las fachadas están directamente relacionadas con el nivel de ruido en el exterior (no como en el caso del aislamiento a ruido aéreo o impacto dentro de una vivienda), luego sea cual sea el indicador elegido, deberá de alguna manera considerar el ruido ambiental exterior. Además muchos de los descriptores comúnmente utilizados incorporan la posibilidad de matizarse en función de la fuente de ruido exterior (tráfico rodado, trenes, aeronaves o ruido generado por una fuente tipo altavoz), lo cual hace la elección todavía más compleja.

Inicialmente se ha acordado utilizar $D_{2m,nT,Is}$ (altavoz como fuente sonora) y algún tipo de ponderación A_{tr} como parámetro preferido. En todo caso, a la hora de establecer exigencias a los edificios, el valor del parámetro deberá depender de una u otra forma del nivel de ruido exterior como ya se ha comentado antes.

Ruido de instalaciones y correspondiente rango de frecuencias

Los parámetros más utilizados para evaluar el ruido de equipos e instalaciones son L_{eq} y L_{max} . Se ha acordado mantener los dos tipos de índices, puesto que de forma conjunta sirven para evaluar de la molestia debida a equipos e instalaciones. El punto débil de L_{eq} es acordar qué periodos y frecuencias deben ser utilizados, al margen de la necesidad de corregir por ruido de

fondo. Para L_{max} parece que $L_{max, Fast}$ responde mejor a la molestia subjetiva mientras que $L_{max, slow}$ tiene la ventaja de ser menos sensible a picos irrelevantes. Dado que se trata de reducir y armonizar los descriptores, se ha sugerido el uso de L_{eq} y L_{max} . En función del tipo de fuente sonora de qué se trate.

Conversión/Traducción de Parámetros

Suponiendo que se pueda alcanzar un consenso respecto a qué parámetros son los ideales para evaluar adecuadamente el comportamiento acústico de los edificios y la satisfacción del usuario, el siguiente reto sería, para cada país, traducir sus exigencias actuales a las equivalentes usando los nuevos descriptores. Esto puede hacerse en base a aproximaciones matemáticas o a partir de curvas basadas en medidas in situ (una gran base de datos) [2-COST-TU0901-WG1-N50; 3]. La mejor solución es intentar aproximar ambas aproximaciones, aunque todavía no hay acuerdo sobre la mejor forma de abordar esta tarea.

Antes de proponer una clasificación acústica de edificios se debería llegar a un acuerdo de cómo traducir los parámetros existentes a los nuevos parámetros, y posteriormente traducir las exigencias de todos los países al nuevo sistema. Esto sería sin duda de gran ayuda para los legisladores a la hora de valorar y entender de qué manera los cambios propuestos pueden afectar a los códigos, normativas o esquemas de clasificación acústica en vigor en sus países.

Esquemas de Clasificación Acústica

Como ya se ha mencionado anteriormente, existen esquemas de clasificación acústica de edificios en 11 países en Europa y en la mayor parte de los casos han sido adoptados como normativos [21]. Estos esquemas difieren en el número de clases, salto entre ellas, parámetros utilizados para determinar las clases, valores mínimos en cada clase... Esta gran variedad hace que la tarea de proponer un esquema de clasificación acústica consensuado sea realmente compleja. Sin embargo el grupo de trabajo COST TU0901 está trabajando en este sentido y se espera que como parte de los resultados de la Acción se dispondrá de una propuesta de esquema de clasificación acústica.

Antes de diseñar un esquema de clasificación acústica que pudiera ser aceptado por la mayoría de los países Europeos, es importante estar de acuerdo en la respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿El sistema de clasificación propuesto deberá clasificar el edificio como un todo o podrá asignar distintas clases dependiendo de la fuente de ruido (aéreo, impacto, fachada, servicios)?
- ¿Es posible diseñar un esquema de clasificación acústico sin haber alcanzado un consenso respecto a los descriptores óptimos, método de evaluación y rangos de frecuencias a emplear?
- ¿Podría darse el caso en que la clasificación acústica de un edificio varíe con el tiempo (esto es, por ejemplo si se altera el ruido ambiental, por ejemplo)?
- ¿Debería la clasificación acústica de un edificio ser una característica intrínseca del mismo y no depender del ruido ambiental?
- ¿Qué descriptores deben tenerse en cuenta a la hora de efectuar la clasificación: sólo ruido aéreo e impacto? También fachadas? Quizás también instalaciones e equipos?
- ¿Qué ventajas presenta un sistema con saltos de 5 dB frente a uno con saltos de 4 dB?
- ¿Cuál debería ser el valor asignado a la peor de las clases en cada caso?
- ¿Debería existir una clase "inferior" destinada a edificios antiguos y renovaciones por si algún día son clasificados?

En una Europa en la que existen países sin ningún tipo de legislación relativa a aislamiento en edificación (Macedonia) y donde las exigencias existentes varían considerablemente de unos países a otros, puede ocurrir que lo que es considerado como un valor mínimo aceptable se absolutamente inaceptable en otro... o que lo que se considera un “edificio de alta calidad acústica” en un país, cumpliera por los pelos las exigencias en otro. Es complejo el realizar una comparación estricta, puesto que cada país utiliza indicadores distintos, pero a modo de ejemplo, si se comparan las exigencias mínimas de España y Austria, se puede observar que lo que se considera aceptable respecto a ruido de impacto en España no cumple (por mucho) con la normativa mínima en Austria. Esto es de hecho un problema a la hora de establecer un sistema de clasificación acústica pues exige abrir un gran abanico de posibilidades (por tanto clases) para poder incluir inicialmente todas las posibles situaciones legalmente aceptadas en Europa.

	ESPAÑA	AUSTRIA
AÉREO	$D_{nTA(100-5000Hz)} > 50$ dB	$D_{nT,W} > 55$ dB (aprox $D_{nT,A} > 54$ dB si $C=-1$)
IMPACTO	$L'_{nT,W} < 65$ dB	$L'_{nT,W} < 48$ dB

Tabla 12: Exigencias mínimas en dos países Europeos

Puede parece “políticamente incorrecto” proponer un esquema de clasificación y admitir que cada país ajuste su nivel mínimo de exigencia en una clase diferente, pero este es posiblemente el único camino para una futura armonización real de descriptores, exigencias y desempeño en Europa. En el momento de redactar este artículo, se está debatiendo un borrador de clasificación en el seno de COST TU0901, pero, como se ha dicho anteriormente, la tarea es compleja y para alcanzar un final satisfactorio es importante que todos los estados tengan la oportunidad de enmarcarse en dicho esquema. Si la propuesta es excesivamente ambiciosa puede ocurrir que algunos países se sientan forzados a ignorarla por incapacidad para ajustarse a la misma. Es más, el debate no debe ceñirse a los parámetros y sus valores sino también a los procedimientos que se han de seguir para obtener una clasificación y cómo elegir las muestras que se ensayan. Para evitar conflictos y los cada vez más frecuentes pleitos, es importante definir un procedimiento claro a la hora de efectuar la clasificación acústica de una vivienda.

En Italia, por ejemplo, cuando se preparó el esquema de clasificación, una gran parte del trabajo se dedicó a establecer los procedimientos para hacer el muestreo y a cómo incorporar la incertidumbre del muestreo [22, 23, 24]. La determinación de las clases se basa en el valor promedio de todas las medidas in situ efectuadas sobre varios elementos constructivos (de acuerdo a la serie ISO 140). La clasificación puede efectuarse en base en medidas sobre todos los elementos susceptibles de ser medidos o en un determinado número de elementos a través de un procedimiento de muestreo. En este último caso debe considerarse la incertidumbre asociada al muestreo. Para construcciones “en serie” en los que hay elementos o soluciones constructivas repetitivas (como en algunos edificios residenciales en los que las viviendas se replican), existe la posibilidad de realizar medidas in situ sólo sobre una muestra. El procedimiento de muestreo en el sistema Italiano, implica la identificación de grupos homogéneos (por lo que a solución constructiva respecta, dimensiones de la partición ensayada y de las salas emisora y receptora, y sistema de instalación/ejecución) que deban cumplir con las mismas exigencias (Figura 1).

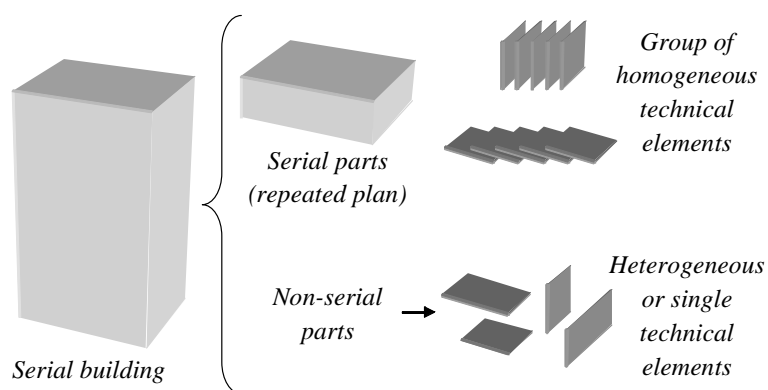


Figura 1 –Distribución de elementos técnicos en una construcción en serie

Se define un grupo homogéneo cuando se verifica la identidad para diversos aspectos que puedan influir en el resultado de una medida. Por ejemplo en el caso del aislamiento de fachada se verificaría el tipo de ventana/puerta, la configuración, la superficie total de la fachada, el volumen y dimensiones de la sala receptora, la superficie de puertas/ventanas etc... Se admite una tolerancia del 20% para las dimensiones de los elementos constructivos y volumen de la sala receptora. La selección de la muestra se basa en el diseño final de la edificación, en las estructuras empleadas y en las especificaciones técnicas de los equipos. Dentro de cada grupo homogéneo se identifican al menos 10% de los elementos sobre los cuales se efectuarán medidas, con un mínimo de 3 elementos en cada grupo.. Para cada vivienda, se asigna el mismo valor del parámetro (aislamiento a ruido aéreo, impacto, fachada...) a todos los elementos que pertenecen a un grupo homogéneo y posteriormente se realiza un promedio energético, para cada parámetro entre los valores obtenidos en cada uno de los diversos grupos homogéneos identificados. Tras aplicar este procedimiento estadístico, se determina una clase para cada parámetro y una clase para el conjunto de la vivienda, aplicando las correspondientes correcciones debidas a la incertidumbre de medida y de muestreo (la incertidumbre del muestreo U_{sh} , está relacionada con la desviación estándar del muestreo s_{sh} , y con el factor de cobertura k . El factor de cobertura depende del nivel de confianza y la normativa italiana fija tres niveles: 70, 75 y 80%)

El hecho de aplicar un procedimiento de muestreo en construcciones en serie que cuentan con un gran número de viviendas análogas (como en complejos residenciales con edificios replicados), esto puede reducir considerablemente el número de medidas. En construcciones “no en serie” o más singulares, en las que hay un gran número de viviendas cuyos elementos/soluciones constructivos no son análogos, el procedimiento de muestreo no reduce suficientemente el número de medidas a realizar. La mayor parte de los edificios residenciales en Italia cuentan con pocos elementos técnicos homogéneos, lo cual genera un gran número de grupos homogéneos. Además en este caso, el estudio estadístico de incertidumbre de muestreo no es significativo y por lo tanto fiable. Es por esto que se ha redactado y publicado una nueva norma técnica [25] que recoge el procedimiento a seguir para realizar la clasificación acústica en el caso de tratarse de edificios residenciales “no en serie”.

RESUMEN

Tras cuatro años de estrecha colaboración con investigadores de toda Europa en el campo de la acústica de edificios, la principal conclusión es: esto no es fácil! Este documento resume sólo algunos de los muchos temas que se han discutido en el grupo. Para una actualización completa, se recomienda leer la bibliografía.

Todos miembros del grupo de trabajo TU0901 están de acuerdo en que los ciudadanos europeos deben beneficiarse de hogares más silenciosos y del uso de descriptores acústicos armonizados para evaluar las prestaciones acústicas de sus viviendas, pero también se prevé que, debido a factores técnicos, sociales, culturales, constructivos y económicos, será necesario contar con un largo período de transición antes de que podamos vivir en una Europa única también en materia de acústica de edificios.

Es un buen momento para que los correspondientes legisladores abran el debate sobre una *Política Europea en Acústica de Edificios* tomando como punto de partida los resultados del grupo TU0901. Todo el trabajo desarrollado puede ser el germen de una futura *Directiva Europea sobre el ruido en la edificación*.

AGRADECIMIENTOS

Los Autores quieren agradecer el apoyo de todos los miembros de la Acción COST TU 0901, de forma especial a los líderes de los diversos grupos de trabajo y a su presidenta, la Sra. Birgit Rasmussen.

REFERENCES

- 1- <http://www.costtu0901.eu/>
- 2- COST-TU0901-WG1 internal documents (N-XX)
- 3- Rasmussen B., Rindel J.H.; Sound insulation between dwellings. Descriptors applied in building regulations in Europe, *Applied Acoustics*, 2010, 71, pp. 171-180.
- 4- Rasmussen, B.; Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe, *Applied Acoustics*, 2010, 71(4) , 373-385.
- 5- Rasmussen, B.; Sound insulation between Dwellings – Overview of the Variety of Descriptors and Requirements in Europe. *Forum Acusticum 2011*, Aalborg, Denmark, 2011.
- 6- Smith R.S., Wood J.B., Fausti P., Ingelaere B., "New buildings: design, technical solutions and acoustical performance in different countries". *Proceedings of European Symposium of EAA TC-RBA and COST Action TU0901*, Firenze, 14 Dicembre 2010, ISBN 978-88-88942-32-2.
- 7- Fausti P., Ingelaere B., Smith R.S., Steel C., "Common errors during construction of new buildings and effect of workmanship". *Proceedings of European Symposium of EAA TC-RBA and COST Action TU0901*, Firenze, 14 Dicembre 2010, ISBN 978-88-88942-32-2.
- 8- Fausti P., Cremonini R., (2009), Variability of results in acoustic measurements in buildings. *Proceedings of EURONOISE2009*, Edinburgh 26 – 28 October 2009, ISBN 1901656985.
- 9- Scholl, W., Lang, J., Wittstock, V.; Rating of Sound Insulation at Present and in Future. The Revision of ISO 717, *ActaAcustica united with Acustica*, 97, 686-698, 2011.
- 10- Bradley J.S; Evaluation of revised ISO airborne sound insulation ratings. *NRC Construction*, RR-330, 21 November 2012
- 11- Park HK, Bradley JS, Gover BN, Evaluating airborne sound insulation in terms of speech intelligibility, *J. Acoust. Soc. Am.* 123(3) 2008 1458-1471
- 12- Park, H.K., Bradley, J.S., Gover, B.N.; Rating airborne sound insulation in terms of the annoyance and loudness of transmitted speech and music sounds. *IRC Research Report DBR-RR-242*, NRC Canada, November, 2008
- 13- Rychtáriková M.; Müllner H.; Stani M.; Chmelík V.; Glorieux C.; Does the living noise spectrum adaptation of sound insulation match the subjective perception?; *Euronoise 2012*, Prague

- 14- Hongisto V.; Oliva D.; Keränen J.; Disturbance caused by airborne living sounds heard through walls – preliminary results of a laboratory experiment, *Internoise 2013, Innsbruck*
- 15- Hongisto V.; Mäkilä M.; Haapakangas A.; Hakala J.; Hyönä J.; Kylliäinen M.; Acoustic satisfaction in multi-storey buildings built after 1950 – preliminary results of a field survey, *Internoise 2013, Innsbruck*
- 16- Lang J.; Muellner H.; The importance of music as sound source in residential buildings, *Internoise 2013, Innsbruck*
- 17- Pedersoli S.; Machimbarrena M.; Rodrigues A. Monteiro C.; Posibles problemas asociados a la ampliación del rango de frecuencias para la evaluación del aislamiento a ruido aéreo in situ, *Tecniacústica 2013, Valladolid*.
- 18- Monteiro, C., Marino, C., Torchia, F., Nannipieri, E., Robertson, N., Smith, R. S., Machimbarrena, M.; Comparative analysis of airborne sound insulation field measurements using different ISO 717-1 performance descriptors - Lightweight separating walls and floors. *Euronoise 2012, Prague*
- 19- Scholl, W.: Why not use impact sound reduction indices instead of impact sound pressure levels? *ActaAcustica 3, 2011*
- 20- Ljunggren F.; Simmons C.; Hagberg K.; Correlation between sound insulation and occupants' perception – proposal of alternative single number rating of impact sound. *Internoise 2013, Innsbruck*
- 21- Rasmussen, B.; Sound Classification of Dwellings – Quality Class Ranges and Class Intervals in National Schemes in Europe; *EuroNoise 2012, Prague, Czech Republic, 2012*
- 22- UNI 11367:2010 - Acoustics in buildings - Acoustic classification of residential units - Field evaluation and verification (in Italian)
- 23- Cremonini R., Secchi S. and Fausti P., "The Italian standard UNI 11367 regarding the sound classification of single properties: overview of procedures". *Proceedings of 2010 EAA Symposium on Harmonization of European Sound Insulation Descriptors and Classification Standards, Florence, (2010)*
- 24- Di Bella A., Fausti P., Scamoni F., Secchi S., Italian experiences on acoustic classification of buildings, *Proceedings of Inter Noise 2012, New York City, August 19-22, 2012; Copyright©2012, The Institute of Noise Control Engineering of the USA, Inc., Washington, DC.*
- 25- UNI 11444:2012 - Acoustics in buildings - Acoustic classification of residential units - Guidelines for the selection of housing units in non-serial buildings (in Italian)