

LA ACÚSTICA Y LA INTELIGIBILIDAD EN RECINTOS UNIVERSITARIOS.

PACS Nº 43.55.Br

Gómez Escobar, Valentín¹; Barrigón Morillas, Juan Miguel¹; Vílchez-Gómez, Rosendo¹; Méndez Sierra, Juan Antonio¹; Rey Gozalo, Guillermo^{1,2}; Prieto Gajardo, Carlos¹; Maderuelo Sanz, Rubén^{1,3}; Martín Castizo Manuel³.

¹Laboratorio de Acústica, Departamento de Física Aplicada, Universidad de Extremadura Avda. de la Universidad, s/n, Cáceres, 10003 (SPAIN). Tel.: +34 927 25 71 95. Fax: +34 927 25 72 03. E-mail: valentin@unex.es

²Universidad Autónoma de Chile; 5 Poniente 1670, Talca, Región de Maule (Chile). Tel: +56 071 342800

³Intromac. Campus Universitario. Avenida de la Universidad s/n. Cáceres.

ABSTRACT

Although in the last decades there was a clear increase in the concern about relationship between good sound and quality of life, paradoxically, we assiduously found many rooms in which, although with a primary function for verbal communication, the acoustics is far from suitable. In this paper, we present part of the study that our research group was carrying out in on university rooms. In this study, to analyze the intelligibility of the studied rooms, we combine acoustic measurements for room characterization, with measurements of intelligibility and with subjective intelligibility tests with listeners.

RESUMEN

A pesar del aumento, en las últimas décadas, de la concienciación de la relación entre una buena acústica y la calidad de vida, paradójicamente, nos encontramos con asiduidad muchos recintos en los que, si bien su función es ser usados principalmente para el uso de la palabra, la acústica con la que se construyeron dista mucho de ser la más idónea. En este trabajo se presenta parte del estudio que nuestro grupo de investigación está realizando en recintos universitarios. En este estudio se conjugan la realización de medidas acústicas para la caracterización de los recintos, con medidas de inteligibilidad y con la realización de pruebas subjetivas con oyentes para caracterizar, igualmente, esta inteligibilidad.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, es destacable el aumento experimentado en lo que se refiere a la concienciación acústica y, dentro de ella, particularmente, a la acústica de interiores. Ejemplo de esta preocupación, en el Documento Básico HR 'Protección frente al ruido' del Código Técnico de la Edificación se recogen no sólo los requerimientos de aislamiento acústico aplicables en la edificación sino también algunos requerimientos de acondicionamiento acústico.

La introducción en la legislación española de requerimientos de acondicionamiento acústico surge, entre otros factores, de las deficiencias en el diseño acústico de muchos locales que todos los ciudadanos hemos sufrido a lo largo de nuestras vidas. Y es que, ciertamente, en muchos de los recintos que habitualmente utilizamos es necesario un acondicionamiento acústico adecuado para su uso. Los recintos universitarios no están exentos de esta problemática y así, a pesar de que claramente la comunicación verbal es el principal factor en el uso del local, en muchas ocasiones el diseño del local no se encuentra adaptado para ella.

En los últimos años numerosos estudios han analizado la acústica de aulas tanto de colegios de primaria [1-3], como de aulas universitarias [4-5] quedando de manifiesto las deficiencias acústicas de muchas de ellas y las consecuencias que estas tienen en la transmisión de la información y en la comunicación verbal.

Dentro de esta preocupación por la acústica de los recintos universitarios, nuestro grupo de investigación se ha planteado el estudio y caracterización acústica de diversos recintos universitarios del campus de Cáceres de la Universidad de Extremadura. Estos recintos son de diversa tipología: por un lado tenemos las típicas clases universitarias; por otro lado hay otra serie de recintos que, pudiendo tener un uso para la docencia, tienen otros usos tales como la defensa de trabajos, de tesis doctorales, actos protocolarios, conferencias; es el caso de los salones de actos y salas de conferencias. En el presente trabajo se presentan resultados obtenidos en algunos de este último tipo de recintos de la Universidad de Extremadura.

La Universidad de Extremadura cuenta, en la actualidad, con unos 35000 alumnos, divididos en cuatro campus, de los que unos 12000 cursan sus estudios en el campus de Cáceres. En este último campus, situado a las afueras de la ciudad, más de 30 estudios diferentes pueden cursarse en los diferentes edificios del campus. En el presente estudio se presentan los resultados del estudio realizado sobre nueve salones de actos o salas de conferencias de diversos edificios del campus universitario de Cáceres de la Universidad de Extremadura.

Para el estudio se han realizado, en primer lugar, diversas mediciones que permitiesen caracterizar la acústica de los recintos analizados y, en segundo lugar, se han realizado pruebas subjetivas con oyentes para caracterizar también la inteligibilidad subjetiva de las mismas.

METODOLOGÍA

Los recintos estudiados

Como ya se ha indicado, un total de nueve recintos se han estudiados. En la Tabla 1 se presentan las características básicas de los mismos, incluyéndose el coeficiente de absorción medio que se obtuvo a partir de los coeficientes de absorción de los distintos materiales que conformaban el local, de la superficie de cada uno de ellos y la superficie total del local. Como se puede apreciar los coeficientes de absorción medio que se obtienen no son bajos, debido, principalmente a la presencia, en todos de ellos, de asientos mediana o altamente tapizados. Este tipo de asiento, debido a su elevada absorción, no presentan diferencias importantes entre

estar vacíos y ocupados [6], luego el efecto de la presencia de más o menos público en las mismas no afecta de forma relevante a los parámetros acústicos medidos.

Recinto	Volumen (m ³)	Superficie de audiencia	Capacidad	Coefficiente de absorción medio
SA1	2000	En pendiente	275	0,21
SA2	1500	Escalonada	340	0,20
SA3	1350	Horizontal	230	0,20
SA4	1300	Escalonada	320	0,32
SA5	815	En pendiente	260	0,27
SA6	710	Escalonada	160	0,12
SA7	420	Horizontal	125	0,16
SA8	400	Horizontal	110	0,22
SA9	190	Escalonada	25	0,09

Tabla 1.- Características de los recintos estudiados.

Puntos de medida

En cada una de las salas se eligieron diferentes puntos de medida, que se distribuyeron a lo largo de todo el plano de la audiencia. El número mínimo de puntos estudiados fue de 13 y el máximo de 60. El total de puntos medidos fue superior a 350. Los puntos fueron elegidos de forma que la mayor parte del plano de la audiencia fuese cubierto y siempre a más de un metro de distancia de las paredes u otras superficies reflectantes (pizarras móviles, pantallas, etc.).

La altura de medida fue de 1,2 metros en aquellos puntos correspondientes a asientos de la audiencia [7]. En el caso de puntos que no tenían correspondencia con asientos de la audiencia, la altura de medida fue de 1,5 metros.

Parámetros acústicos medidos

En cada punto de medida se estudiaron diferentes parámetros acústicos. Estos parámetros pueden ser agrupados en tres grupos diferentes:

- Ruido de fondo. Se midió en el centro de la sala, con un tiempo de medida de cinco minutos. Las medidas se realizaron en octavas entre 125 y 4000 Hz y, a partir de ellas, se obtuvo el valor del ruido de fondo del local.
- Tiempo de reverberación y parámetros relacionados con él. En este grupo se incluyen tanto, el propio tiempo de reverberación (TR), como parámetros como el índice de calidez (BR) o el índice de brillo (Br) que se obtienen a partir del valor en octavas del tiempo de reverberación según las expresiones siguientes[8]:

$$BR = \frac{RT(125Hz) + RT(250Hz)}{RT(500Hz) + RT(1000Hz)}; \quad Br = \frac{RT(2000Hz) + RT(4000Hz)}{RT(500Hz) + RT(1000Hz)}$$

En cada punto de medida el valor del tiempo de reverberación se obtuvo como T30, en bandas de tercios de octavas, utilizando para ello el método de ruido interrumpido, empleando para ello ruido rosa. El valor del tiempo de reverberación para cada tercio de octava se obtuvo como valor medio de los valores obtenidos en las tres caídas que se midieron en cada punto. Los valores de las bandas de octava se obtuvieron a partir de los valores correspondientes a las bandas de tercios de octavas y se utilizaron para, a partir de los índices BR y Br, estudiar la idoneidad de la variación del tiempo de reverberación con la frecuencia.

El valor único del tiempo reverberación de cada sala de conferencias se obtuvo como valor medio de los tiempos de reverberación de todos los puntos del local, excluidos los puntos situados a un metro de la fuente.

- Parámetros relacionados con la inteligibilidad verbal. La inteligibilidad del local se evaluó a partir de los parámetros físicos *Speech Transmission Index* (STI) [9] y Definición (D-50) [10] y a partir de pruebas subjetivas con oyentes.

Para la realización de la pruebas subjetivas se utilizaron series de 100 sílabas sin sentido (logatomos) que fueron emitidos por diferentes oradores (generalmente, cinco) ante diferentes oyentes (al menos 15). Los logatomos elegidos fueron los propuestos previamente por Vela y colaboradores [11] y el orden de lectura de los mismos fue diferente para cada secuencia. Tras cada secuencia, cada oyente cambiaba de posición. Para el análisis de los resultados, se realizó un análisis estadístico previo y se eliminaron aquellos oyentes cuyos resultados eran diferentes del resto (presentaban diferencias superiores a dos desviaciones estándares del valor medio). El número de tests que se realizaron variaron entre 75 y 315, según el recinto.

Equipos de medida

Las medidas de ruido de fondo y de los parámetros utilizados para evaluar al inteligibilidad verbal fueron adquiridos con el equipo Type 1 “Symphony System” de la empresa 01dB, mediante el software dBbati que se proporciona con el sistema de medida. Las medidas del tiempo de reverberación se llevaron a cabo mediante un analizador sonoro de la empresa Brüel and Kjær (modelo 2260 Type 0 analyzer). En ambos casos, se utilizaron un amplificador y una fuente omnidireccional de la empresa Brüel and Kjær (modelos 2726 y 4296, respectivamente). El nivel de emisión para las medidas de inteligibilidad se ajustó de forma que el nivel sonoro, a un metro de distancia, fuese de 70 dB. Para las medidas de tiempo de reverberación se utilizó un nivel sonoro aproximado de 100 dB, a un metro distancia.

Previo a la realización de las diferentes medidas, los sistemas de medida fueron calibrados mediante un calibrador de la empresa Brüel and Kjær (modelo 4231).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como paso previo, para comprobar si la caracterización de materiales de la sala había sido correcta, se calculó, a partir del coeficiente de absorción medio de la sala, que se ha mostrado en la Tabla 1, el valor del tiempo de reverberación mediante la expresión de Eyring-Norris, para la octava de 1000 Hz. Los resultados de esta comparación se muestran en la Figura 1. Como puede verse las diferencias entre valores experimentales y calculados no es demasiado elevada [varió entre 0,1 y 0,25 segundos, con un valor medio de $-0,02 \pm 0,09$ segundos, y, si lo expresamos porcentualmente, osciló entre 5 y -16 %, con un valor medio de $-3,0 \pm 6,8$ %] y se puede considerar que la asignación de materiales y cálculo del coeficiente de absorción medio de la sala ha sido satisfactoria.

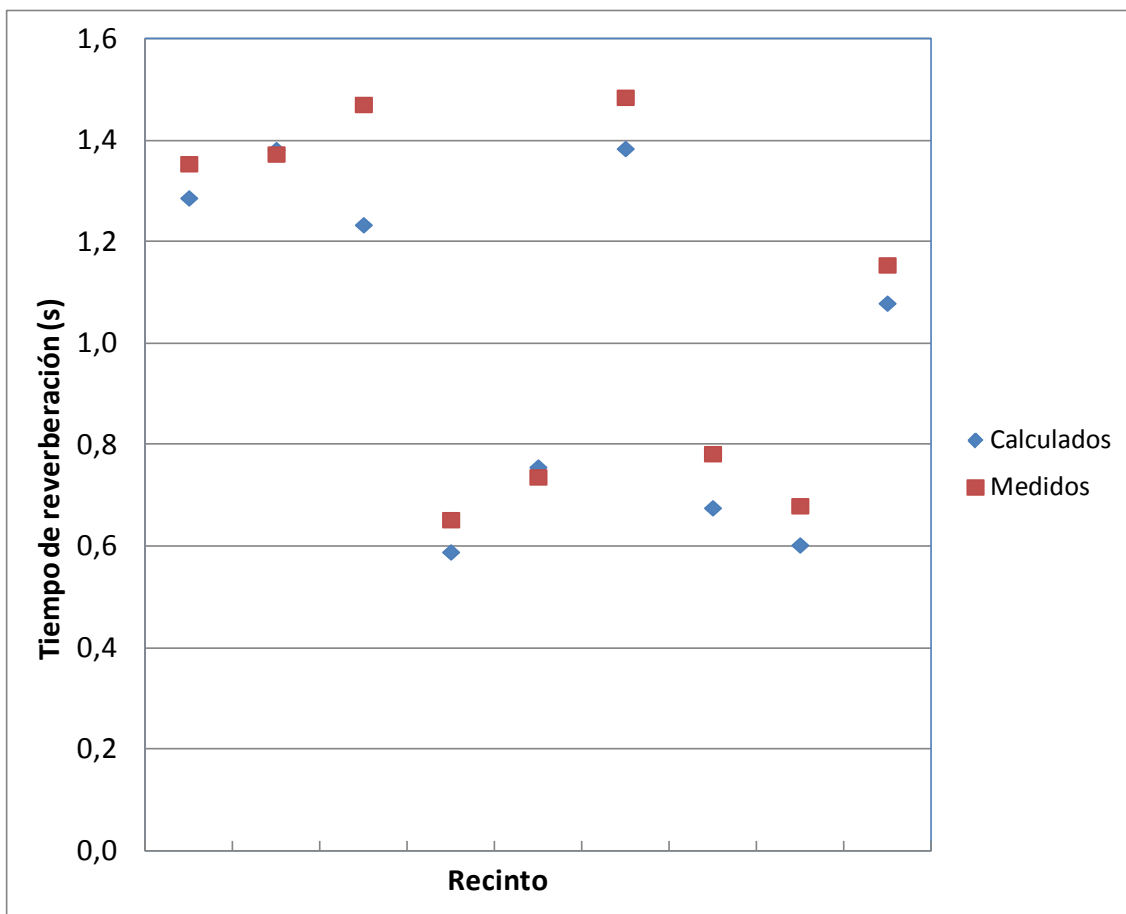


Figura 1.- Comparación entre valores medidos y calculados del tiempo de reverberación (1 kHz).

En la Figura 2, se muestran los tiempos de reverberación experimentales obtenidos en las distintas salas estudiadas. Adicionalmente, en la Tabla 2, se resumen diferentes parámetros también medidos en las salas estudiadas.

	Sala								
	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9
Volumen (m ³)	2000	1550	1350	1300	815	710	420	400	190
RT (DBHR) (s)	1,30	1,34	1,41	0,64	0,73	1,44	0,78	0,68	1,16
BR	1,15	0,89	0,76	1,14	1,14	0,94	1,00	1,35	0,91
Br	1,01	1,03	0,93	1,04	0,98	0,99	0,93	0,89	0,96
Ruido fondo (dBA)	35,5	38,7	25,7	26,2	27,3	29,8	25,9	32,7	38,9
STI medio	0,60	0,61	0,62	0,76	0,71	0,58	0,71	0,71	0,65
Acierto de logatomos (%)	73	73	85	81	79	85	84	74	83

Tabla 2.- Resumen de parámetros físicos medidos.

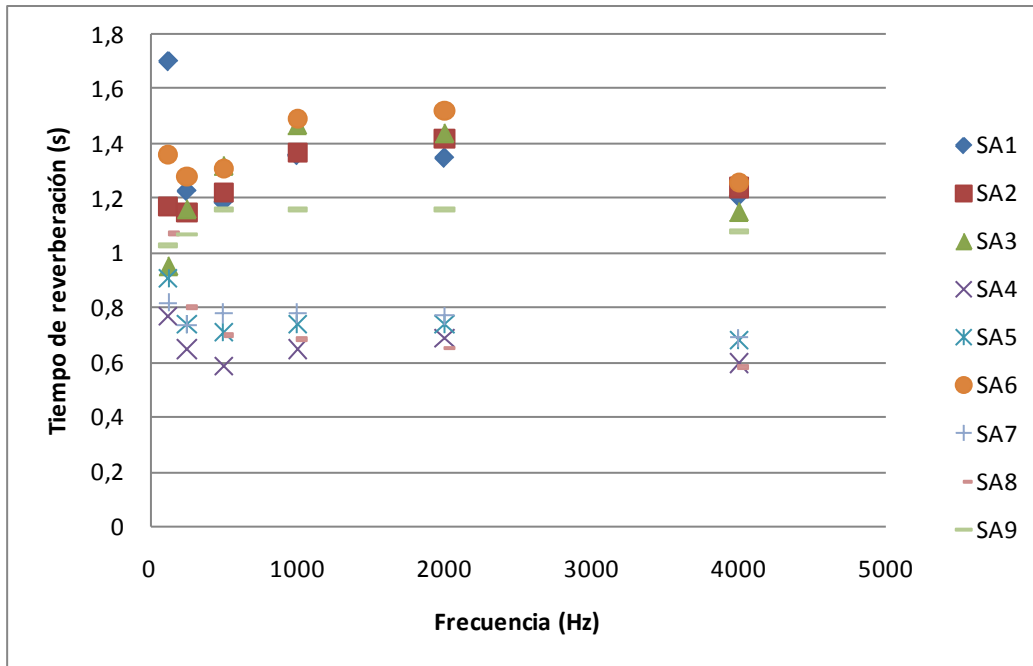


Figura 2.- Tiempos de reverberación medidos.

De los resultados que observamos en la Tabla 2, se puede apreciar que no existe una clara tendencia entre el comportamiento de los resultados de las pruebas subjetivas (% de logatomo acertados) y los parámetros físicos medidos (por ejemplo el STI). Esto es paradójico, pues deberían tener una tendencia similar.

Si intentamos relacionar los resultados obtenidos entre los parámetros de inteligibilidad y el resto de parámetros, observamos que, como se aprecia en las Figuras 3 y 4, que el valor medio del STI en la sala (se obtuvo haciendo promedio de los diferentes puntos, excepto el punto situado a un metro de la fuente que no se consideró representativo de la audiencia) presenta una relación clara con el tiempo de reverberación (relación altamente significativa) (Figura 2), pero no con el ruido de fondo (Figura 3)

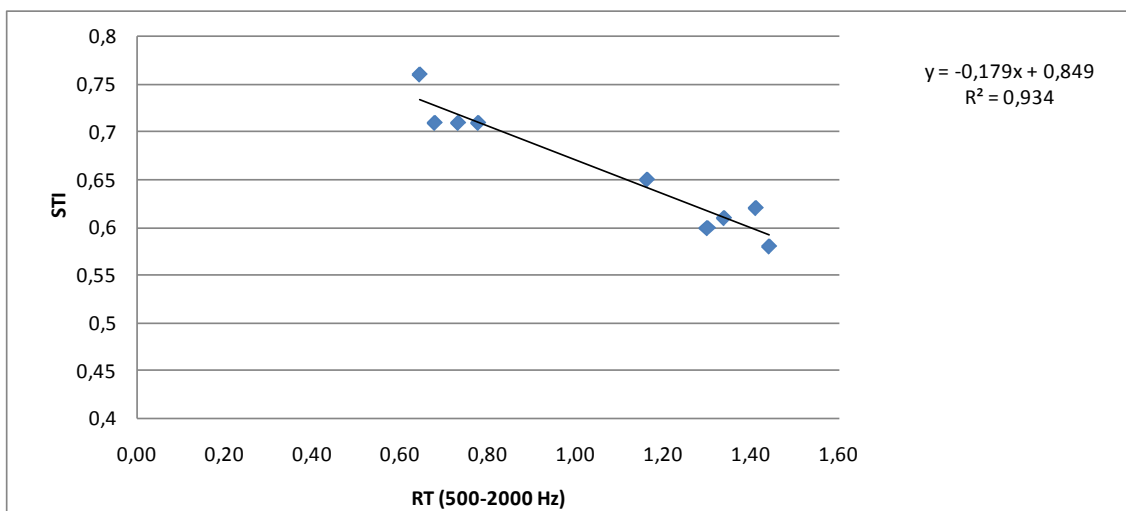


Figura 3.- Relación entre el STI y el Tiempo de reverberación.

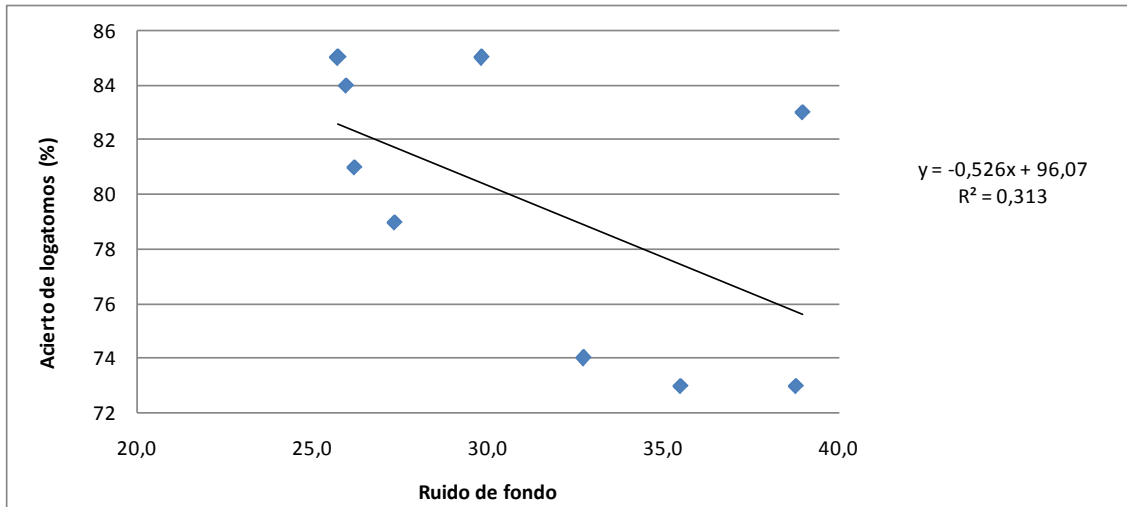


Figura 4.- Relación entre el STI y el ruido de fondo.

CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo un estudio de las características acústicas de 9 salones de actos y salas de conferencias de la Universidad de Extremadura, cuyo uso principal es la defensa de trabajos, de tesis doctorales, actos protocolarios, conferencias, etc.

Se realizó una asignación de materiales de la sala y un cálculo del coeficiente de absorción medio de la misma y se comprobó si la asignación era satisfactoria, comparando, para la banda de octava de 1000 Hz, los tiempos de reverberación calculados a partir de este coeficiente de absorción medio con los tiempos de reverberación medidos.

Las inteligibilidades para la palabra que se midieron, así como los resultados obtenidos por las pruebas de inteligibilidad mediante logatomos, muestran que la inteligibilidad de estas salas es razonablemente buena en la mayor parte de los casos.

Cuando los valores de inteligibilidad medidos para este estudio se comparan con los valores medidos del tiempo de reverberación y con el ruido de fondo se encuentra que existe una relación altamente significativa con el tiempo de reverberación, pero no hay relación significativa con el ruido de fondo. Parece, por tanto, que, según los resultados de este estudio, para los recintos estudiados, la inteligibilidad de la palabra está condicionada por el tiempo de reverberación del local.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la ayuda de todas las personas que han colaborado en las mediciones llevadas a cabo.

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Consejería de Empleo, Empresa e Innovación - Gobierno de Extremadura (GR10175), Fondo Social Europeo y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] J. Cepeda Riaño, E. García Ortiz, B. Melcon Otero, M.I. Vidal González. "Intelligibility in a school in León (Spain)". Proceedings of Inter.noise 2000, Nice (France).
- [2] Augustynska, D., Kaczmarska, A., Mikulski, W., Radosz, J. (2010). "Assessment of Teachers' Exposure to Noise in Selected Primary Schools". Archives of Acoustics 35, 521-542.
- [3] Sato H., Bradley, J. S. (2008) "Evaluation of acoustical conditions for speech communication in working elementary school classrooms". Journal of the Acoustical Society of America 123, 2064-2077.
- [4] M.R. Hodgson. (1999). "Experimental investigation of the acoustical characteristics of university classrooms". Journal of the Acoustical Society of America 106(4),1810-1819.
- [5] M.R. Hodgson. (2004) "Case-study evaluations of the acoustical design of renovated university classrooms". Applied Acoustics 65, 69-89.
- [6] L.L. Beranek. (1996) "Concert and Opera Halls: How They Sound?" (New York; Acoustical Society of America).
- [7] ISO 3382: 2001 "Acoustics. Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters". [Geneva (Switzerland), International Organization for Standardization].
- [8] H. Aruau. (1999) "ABC de la Acústica Arquitectónica" (Barcelona; edic. CEAC).
- [9] T. Hougast, H.J.M. Steeneken. (1973) "The Modulation transfer function in room acoustics as a predictor of Speech Intelligibility". Acustica, 28:66-73.
- [10] R. Thiele. (1953) "Richtungsverteilung und Zeitfolge der Schallrückwürfe in Räumen". Acustica, 3:291-302.
- [11] Vela A., Arana M., García A. (1995), Revisión de pruebas subjetivas de inteligibilidad mediante la emisión de logatomos, Proceedings of Tecniacústica 1995, La Coruña (Spain).