

## CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DE SALONES DE ACTOS DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

PACS: 43.55.Gx

Gómez Escobar, Valentín\*; Barrigón Morillas, Juan Miguel; Méndez Sierra; Juan Antonio; Vílchez Gómez, Rosendo

Universidad de Extremadura; Escuela Politécnica. Departamento de Física.

Avda. de la Universidad, s/n

10071 Cáceres, España.

Tel.: 34 927 257 195

Fax: 34 927 257 203.

\* Correo: valentin@unex.es

### ABSTRACT

Acoustic parameters were studied for conference rooms of the University of Extremadura. Parameters related with the reverberation time, background noise, and intelligibility were studied. The results showed that the intelligibility can be considered as at least "fair" in all the rooms. The measured reverberation times were compared to recommended values taken from the literature; according to the intelligibility results two of the recommended reverberation time behaviour was in agreement with our result, but this was not happened for the other recommended reverberation time used.

### RESUMEN

Dentro de la preocupación por el adecuado diseño de los recintos en los que desenvolvemos nuestra vida y, en particular, por un adecuado comportamiento acústico, cuatro salas de conferencias del campus de Cáceres de la Universidad de Extremadura han sido medidas y analizadas.

En cada una de las salas, se ha medido ruido de fondo, inteligibilidad de la palabra mediante medida de parámetros físicos, tiempo de reverberación y algunos parámetros relacionados con éste. Los resultados de los mismos concuerdan a nivel de inteligibilidad y del tiempo de reverberación, pero no con el ruido de fondo. Las recomendaciones de tiempo de reverberación empleadas muestran ser adecuadas a este tipo de recintos en dos de los casos, si bien un tercer tipo de recomendación no parece que se adecue a las salas estudiadas.

### INTRODUCCIÓN

La construcción actual se encuentra muy condicionada por factores presupuestarios y, a veces, estéticos. La importancia de estos factores muchas veces hace olvidar otros aspectos como son la idoneidad del entorno al uso futuro, la comodidad del usuario, etc. Este es el caso, desafortunadamente, en los edificios dedicados a la enseñanza, donde, muy a menudo, nos encontramos con espacios que tienen muchos problemas de uso, derivados de un inadecuado diseño en relación a la utilización de los mismos (aulas con columnas que impiden la visión, mobiliarios que no permiten la diversificación de las metodologías docentes, acústicas que impiden una adecuada inteligibilidad...).

Como acabamos de poner como ejemplo, entre las deficiencias que se observan en los edificios dedicados a la enseñanza destacan, por su abundancia, los problemas derivados de un inadecuado diseño acústico. Así, en los últimos años, diversos estudios se han realizado en el entorno educativo de cara a su caracterización acústica<sup>1,2,3</sup>.

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 estos edificios, al margen de las aulas, se han habilitado, como salones de actos, espacios para un uso general en actos académicos, institucionales y, en algunas ocasiones, sociales. Los salones de actos que podemos encontrar en los ocho diferentes edificios del campus de la Universidad de Extremadura pueden englobarse, grosso modo, en dos grupos diferentes: aquellos con un volumen grande (superior a 1000 m<sup>3</sup>) cuyo diseño claramente difiere del resto de recintos de los edificios y aquellos de volumen pequeño (volumen inferior a 1000 m<sup>3</sup>) que, en algunos de los casos, son espacios concebidos inicialmente como aulas que fueron reformados para ser utilizados para actos comunes. A estos dos grupos de salones de actos los podríamos denominar auditorios y salas de conferencias, respectivamente.

El presente trabajo se centra en el análisis de las condiciones acústicas de las salas de conferencias que existen en los edificios del campus de Cáceres de la Universidad de Extremadura, de forma que nos ayude a hacernos una idea de lo adecuado que sus condiciones acústicas son respecto al uso al que se destinan.

## METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

### Las salas de conferencias estudiadas

Un total de cuatro salas de conferencias fueron estudiadas. Las características básicas de las mismas se muestran en la tabla 1.

Código	Ubicación	Volumen (m <sup>3</sup> )	Superficie en planta (m <sup>2</sup> )	Superficie de audiencia	Capacidad
SC1	Facultad de C. del Deporte	800	233	En pendiente	200
SC2	Facultad de Derecho	720	175	Escalonado	150
SC3	Facultad de Enfermería	470	125	Horizontal	120
SC4	Escuela Politécnica	400	135	Horizontal	112

Tabla 1.- Características físicas de las salas de conferencias estudiadas.

Respecto a los materiales empleados en su acondicionamiento, éstos difieren de unas salas a otras. Los asientos que se han utilizado para su uso se pueden considerar como medio o muy acolchados, por lo que, aunque las medidas se han llevado a cabo en las salas vacías, el efecto de la presencia de público en las mismas no puede considerarse como muy relevante, ya que la diferencia de absorción de este tipo de asientos es poco diferente a la de la audiencia<sup>4</sup>.

### 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 10. 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<sup>5</sup>. 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. Fue medido en medio de la sala, con un tiempo de medida de cinco minutos. Las medidas se realizaron en bandas de tercios de octavas y a partir de ellas se obtuvieron los valores de octavas que se utilizaron para obtener los valores del índice *Noise Reduction* (NR)<sup>6</sup> asociado al ruido de fondo del local.
- Parámetros relacionados con la inteligibilidad verbal. La inteligibilidad del local se evaluó a partir de los parámetros *Speech Transmission Index* (STI)<sup>7</sup> y Definición (D-50)<sup>8</sup>.
- 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<sup>9</sup>:

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

En cada punto de medida el valor del tiempo de reverberación fue obtenido, 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 fue obtenido 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 fueron utilizados 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 fue obtenido como valor medio de los tiempos de reverberación de todos los puntos del local, excluidos los puntos situados a un metro de la fuente.

## 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

En la tabla 2, se muestran los resultados que, para los diferentes grupos de parámetros medios o calculados se obtuvieron para las salas de conferencias estudiadas.

Respecto al ruido de fondo, el valor de NR 45 que se obtiene para tres de las salas de conferencia estudiadas ha de considerarse como indicador de un nivel de ruido de fondo excesivo. Sólo la sala SC3, muestra un valor del índice NR que hace suponer que el nivel de ruido de fondo es adecuado. Si bien es conocido la influencia negativa que un valor alto del ruido de fondo tiene sobre la inteligibilidad, los valores de ruido de fondo obtenidos no parecen

estar directamente relacionados con ella, ya que, si bien tres de las salas presentan valores que debemos de considerar, como ya se ha indicado, elevados, dos de ellas presentan valores del índice STI que indican que la inteligibilidad del local es 'buena'.

		Sala de Conferencias			
		SC1	SC2	SC3	SC4
<b>TR (s)</b>	Frecuencia (Hz)				
	125	0,87	1,38	0,96	1,11
	250	0,73	1,35	0,70	0,81
	500	0,75	1,39	0,73	0,72
	1000	0,76	1,53	0,74	0,71
	2000	0,75	1,50	0,77	0,68
	4000	0,71	1,21	0,69	0,58
<b>TR medio (s)</b>		0,76	1,39	0,77	0,77
<b>BR</b>		1,06	0,93	1,13	1,35
<b>Br</b>		0,96	0,93	1,00	0,89
<b>STI</b>		0,71	0,57	0,69	0,71
<b>Inteligibilidad</b>		Buena	Aceptable	Buena	Buena
<b>Valor NR del local</b>		45	45	25	45
<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>		800	720	470	400

Tabla 2.- Características acústicas de las salas de conferencias estudiadas.

Respecto a la inteligibilidad del local, los resultados muestran que ésta, reflejada en los dos parámetros estudiados (STI y Definición) varía con la distancia, como a modo de ejemplo se muestra en la figura 1, para una de las salas de conferencias estudiadas (la sala de conferencias SC4).

Para el cálculo del valor de STI medio del local, que se muestra en la tabla 2, el punto situado a 1 metro de distancia no fue considerado, ya que esta distancia no se consideró como representativa de la situación de la audiencia.

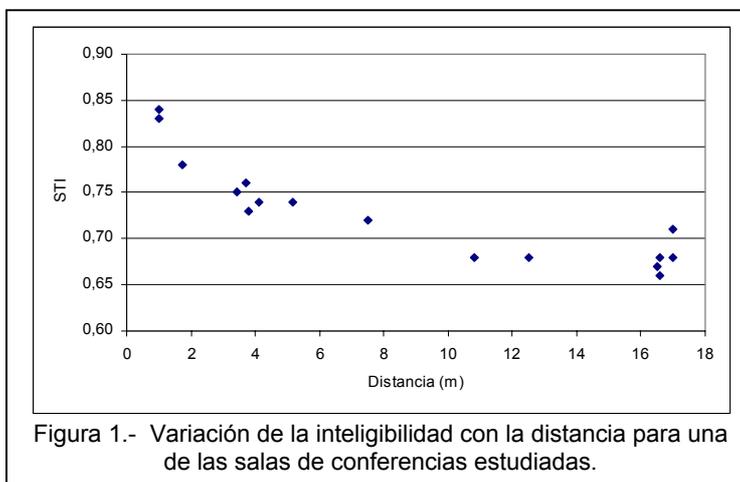


Figura 1.- Variación de la inteligibilidad con la distancia para una de las salas de conferencias estudiadas.

Como cabría esperar, se obtuvo una alta correlación entre los dos índices de inteligibilidad empleados. Así, la definición y el valor del STI se relacionan con la expresión:

$$D-50 (\%) = -48,0 + 163,1 \cdot STI,$$

con un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0,99, que claramente, muestra la alta correlación entre los dos índices estudiados.

Finalmente, centramos nuestra atención en el tiempo de reverberación y en los parámetros relacionados con él. Para evaluar la idoneidad del tiempo de reverberación para el uso del recinto nos vamos a fijar, en primer lugar, en la siguiente expresión, recomendada por Hodgson y Nosal para aulas universitarias<sup>10</sup> (si bien no es el uso que se da de los recintos, como hemos comentado en algunos de los casos las salas de conferencias estudiadas derivan de aulas y tienen tamaños comparables a las aulas universitarias):

$$TR_{\text{óptimo}} = 0,04 \cdot V^{0,4}$$

En la figura 2 se muestran los valores experimentales obtenidos, junto a los valores recomendados.

Como se puede apreciar en la figura 2, los valores de los tiempos de reverberación obtenidos son claramente superiores a los que se obtienen. Ello podría indicarnos que la acústica de las aulas no es la adecuada, pero dado que los valores de la inteligibilidad obtenida para las salas estudiadas para el parámetro STI indica que esta debe considerarse como 'buena' en tres de las salas estudiadas, vamos a buscar otros valores recomendados.

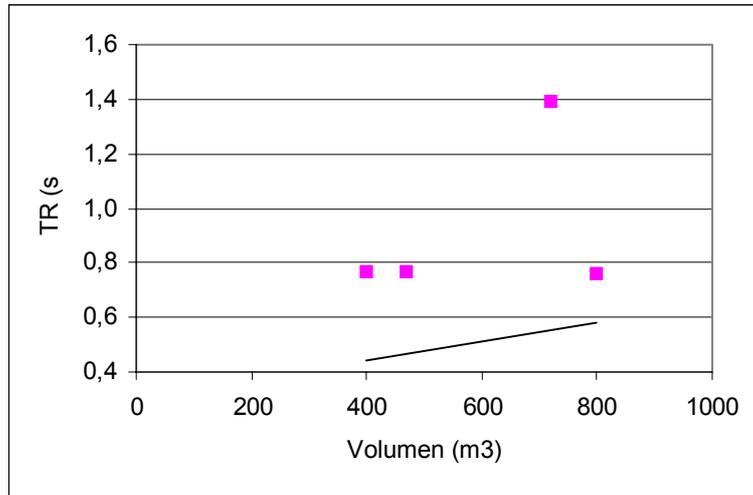


Figura 2.- Comparación entre los valores experimentales del tiempo de reverberación y la recomendación de Hodson y Nosal para este índice<sup>10</sup>.

Así, en segundo lugar nos fijamos en la recomendación, que para la banda de octava de 500 Hz proponen Knudsen y Harris para recintos de uso verbal<sup>11</sup> y la que propuso Conturie para teatros y salas de conferencias<sup>12</sup>. En la figura 3 se comparan los valores experimentales del tiempo de reverberación para esta banda de octava con los recomendados por los mencionados autores.

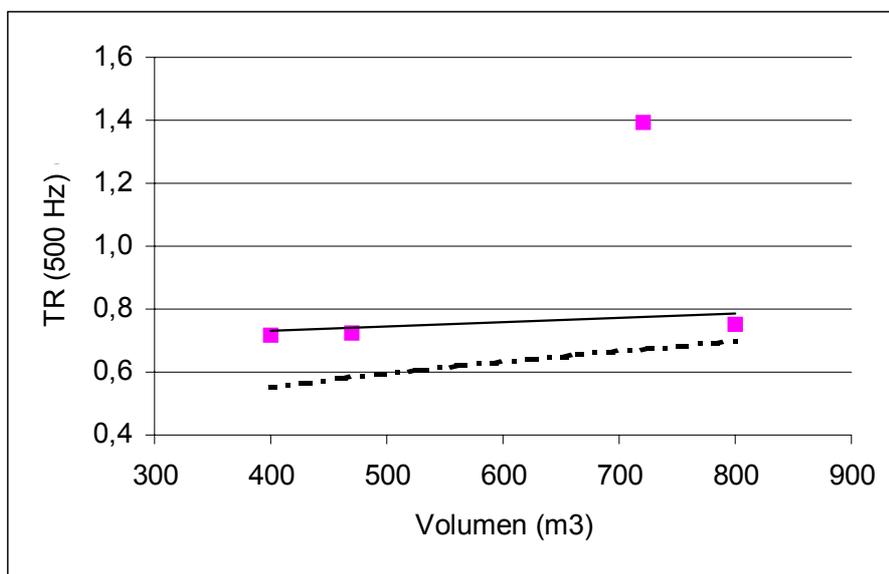


Figura 3.- Comparación entre los valores experimentales del tiempo de reverberación (octava de 500 Hz) y las recomendaciones de Knudsen y Harris<sup>11</sup> (línea continua) y Conturie<sup>12</sup> (línea discontinua).

Como puede observarse en la figura 3, se observa, que excepto para una sala de conferencias (SC2), los valores del tiempo de reverberación de la octava de 500 Hz, se aproximan mucho a los valores recomendados por Conturie y prácticamente coinciden con los propuestos por Knudsen y Harris. El comportamiento que se observa en la figura 3 se adecua mucho más a los resultados que se mostraron en la tabla 2. Así, la sala que más se aleja de las

recomendaciones coincide con la que presentaba un valor inferior del índice de inteligibilidad STI. De acuerdo a la figura 3, un aumento de la absorción de la sala conduciría a tiempos de reverberación más cercanos a los recomendados y, previsiblemente, a una mejor inteligibilidad de la sala de conferencias.

Analizando, finalmente, los valores de los índices BR y Br, que nos ayudan a estudiar si la forma de la variación el tiempo de reverberación con la frecuencia es la adecuada. Se asume que el tiempo de reverberación a bajas frecuencias debe tener valores ligeramente superiores a los valores de media frecuencia [por ello se recomiendan valores de BR cerca o ligeramente superiores a la mitad (típicamente entre 1,0 y 1,2)]. En lo que respecta a los valores del tiempo de reverberación a alta frecuencia, se recomienda que éstos sean similares o ligeramente inferiores a los valores a media frecuencia (típicamente entre 0,8 y 1,0). Respecto al índice de brillo (Br) las cuatro salas de conferencias analizadas muestran valores dentro del rango recomendado; respecto al índice de calidez (BR), la sala de conferencia SC2 presenta valores algo inferiores, mientras que la sala de conferencias SC4 presenta un valor algo superior. Dado que se ha mencionado la necesidad de incluir materiales absorbentes en la sala de conferencias SC2, éstos deberían tener más capacidad absorbente a alta frecuencia, para que el nuevo valor del índice de calidez se ajustase más al rango recomendado.

## CONCLUSIONES

A la hora de hacer una valoración acústica de las salas estudiadas, podemos decir que, respecto al ruido de fondo, con las limitaciones de un tiempo de medida muy pequeño, sólo en una de las tres se midió un ruido de fondo que podemos considerar como bajo y adecuado para el uso del local. En las otras tres aulas el valor de NR obtenido es claramente deficiente y sería deseable su mejora mediante una mejora del aislamiento acústico de los recintos.

No obstante lo anterior, en tres de las salas de conferencias estudiadas, dos de ellas con un NR elevado, la inteligibilidad de la palabra que se obtiene a partir del valor de STI nos indica que la inteligibilidad ha de considerarse como “buena”. En la otra sala la inteligibilidad medida sólo puede considerarse como “aceptable”.

Finalmente, respecto al tiempo de reverberación, la sala de conferencia en la que tenemos inferior inteligibilidad, es la que más se diferencia de dos de las recomendaciones utilizadas. La otra recomendación analizada muestra no ser adecuada para este tipo de recintos.

## AGRADECIMIENTOS

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

## REFERENCIAS

- <sup>1</sup> M.R. Hodgson. “Experimental investigation of the acoustical characteristics of university classrooms”. *Journal of the Acoustical Society of America* 1999; 106(4):1810-1819.
- <sup>2</sup> M.R. Hodgson. “Case-study evaluations of the acoustical design of renovated university classrooms”. *Applied Acoustics* 2004; 65:69-89.
- <sup>3</sup> 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)*.
- <sup>4</sup> L.L. Beranek. “Concert and Opera Halls: How They Sound?” (New York; Acoustical Society of America; 1996).
- <sup>5</sup> ISO 3382. “Acoustics. Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters”. [Geneva (Switzerland), International Organization for Standardization].
- <sup>6</sup> ISO R-1996. “Acoustics. Description and measurement of environmental noise”. [Geneva (Switzerland), International Organization for Standardization].
- <sup>7</sup> T. Hougaard, H.J.M. Steeneken. “The Modulation transfer function in room acoustics as a predictor of Speech Intelligibility”. *Acustica*, 1973; 28:66-73.

---

<sup>8</sup> R. Thiele. "Richtungsverteilung und Zeitfolge der Schallrückwürfe in Räumen". *Acustica*, 1953; 3:291-302.

<sup>9</sup> H., Aruau. "ABC de la Acústica Arquitectónica". (Barcelona; edic. CEAC; 1999).

<sup>10</sup> T. Hougast, H.J.M. Steeneken. "The Modulation transfer function in room acoustics as a predictor of Speech Intelligibility". *Acustica*, 1973; 28:66-73.

<sup>11</sup> V.O. Knudsen, C.M. Harris. "Acoustical design in architecture". (New York; Acoustical Society of America; 1988).

<sup>12</sup> L. Conturie. "L'acoustique dans les bâtiments. Théorie et applications". (Paris; Editions Eyrolles; 1955).