

## EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA SUBJETIVA DE DIFERENTES INSTRUMENTOS DE PERCUSIÓN EN VARIAS SALAS

PACS: 43.55.Hy

Arturo Barba<sup>1</sup>; Samuel Brazalez<sup>1</sup>; Jaume Segura<sup>2</sup>; Salvador Cerdá<sup>3</sup>; Ana Planells<sup>3</sup>; Rosa Cibrián<sup>4</sup>; Alicia Giménez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Conservatorio Superior de Música de Valencia. arturo@arturobarba.com  
samuel100991@hotmail.com

<sup>2</sup> ETSE – Universitat de València. jsegura@uv.es

<sup>3</sup> E.T.S.I.Industriales, Univ. Politècnica de València. agimenez@fis.upv.es. salcerjo@mat.upv.es

<sup>4</sup> Facultat de Medicina – Universitat de València. rosa.m.cibrian@uv.es

### ABSTRACT

Musical performance in different environments involves an adaptation of the performer who tends to assess the performance depending on the response of the instrument in the room or environment. This evaluation can also be assessed according to different psychoacoustic parameters and their relationship to the subjective assessment is what allows the determination of a particular psychoacoustic model of pleasantness.

This paper describes the process of determining a psychoacoustic model based on performances in different rooms and the assessment of a panel of experts through a survey 'online'.

### RESUMEN

La interpretación musical en diferentes entornos conlleva una adaptación del ejecutante que tiene que adaptarse a la respuesta del instrumento en la sala o entorno en que desarrolla su interpretación. Esta adaptación o valoración también puede expresarse por medio de diferentes parámetros psicoacústicos, cuya relación con la percepción subjetiva permite la determinación de un determinado modelo psicoacústico de agrado.

Este artículo describe el proceso de determinación de un modelo psicoacústico en base a interpretaciones de instrumentos de percusión en diferentes salas y la valoración de un grupo de expertos mediante una encuesta online.

### 1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se ha realizado en el Conservatorio Superior de Música de Valencia, en el conjunto de salas que emplean de modo habitual los estudiantes de percusión. En ellas, en primer lugar, hemos realizado las medidas necesarias para estudiar sus condiciones acústicas. Posteriormente hemos desarrollado una encuesta online comparando grabaciones de los instrumentos interpretando idénticos pasajes musicales en cada una de las salas. Estos

pasajes han sido analizados según el modelo de agrado de Zwicker y sus parámetros psicoacústicos, con el objeto de poder comparar dichos resultados con los de las encuestas online. La finalidad última de este trabajo es encontrar un modelo de recinto óptimo para la audición de cada uno de los instrumentos de percusión estudiados, a través de su respuesta sonora en diferentes salas del Conservatorio Superior de Música de Valencia.

En las últimas décadas se han realizado muchas investigaciones sobre acústica de instrumentos de percusión, incluyendo estudios genéricos como los de Jones y Gatzen [1] o Rossing [2] y estudios pormenorizados de familias instrumentales de percusión, como los estudios de láminas Bork [3] o Suits [4], los de tambores (drums) Fece [5], Barakat [6] o Richardson [7] y los estudios específicos de timbal publicados por Christian [8] y Rickey [9]. Sin embargo, sobre la adecuación subjetiva de los instrumentos de percusión a la acústica diferentes recintos hemos encontrado una total ausencia de literatura, que nos ha llevado a iniciar la línea de investigación que abrimos con esta publicación.

## 2. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

### 2.1 Selección de los instrumentos de percusión objeto de estudio

Hemos seleccionado los tres instrumentos de percusión más representativos en el panorama de la educación musical superior actual: la caja, los timbales y la marimba (Tabla I). Sus características básicas están ampliamente definidas en [10] y [11]. Las especificaciones técnicas de los instrumentos empleados son las siguientes:

- **Caja Pearl free floating 5"**. Material del casco: Arce. Casco de 6 capas, aros de fundición, hardware cromado, bellotas FT-50 Free Floatin (Figura 1).

- **Timbales 29" 26" majestic symphonic**. Caldera de cobre profundo, con acabado liso. Pedal: sistema de acelerador. Parches: Remo Renaissance (Figura 2). Baquetas: franela Kato DFL 3222.

- **Marimba Yamaha 1430C**. cuatro octavas y media. Rango: A-c4. Madera: rose wood. Afinación: A3=442 Hz (Figura 3).

*Tabla 1- Clasificación de los instrumentos seleccionados*

Instrumentos de percusión	Clasificación Horbonstel-Sachs	Tipo de Afinación	Subclasificación orquestal
<b>Caja</b>	Membranófono	Afinación indeterminada	Parche
<b>Timbal</b>	Membranófono	Afinación determinada	Parche
<b>Marimba</b>	Idiófono	Afinación determinada	Láminas



Figura 1.- Caja



Figura 2.- Timbal



Figura 3.- Marimba

## 2.2 Elaboración del material musical a emplear

De acuerdo con nuestro objetivo de estudiar la respuesta sonora de diferentes espacios del CSMV ante el estímulo sonoro de cada instrumento de percusión elegido no sólo desde el punto de vista objetivo sino también subjetivo, decidimos elaborar material musical propio a tal efecto. Con él realizamos grabaciones en cada una de las salas, a partir de las cuales planteamos encuestas subjetivas de percepción a estudiantes y profesionales de la música, para con ellas poder contrastar los análisis previos.

La escritura musical y los recursos de cada uno de los instrumentos varía en gran medida. Por ello Samuel Brazález, titulado superior en percusión y firmante de esta comunicación, elaboró un pasaje musical breve para cada uno de los instrumentos:

**Caja:** Pasaje corto, sencillo y fácilmente reconocible. Presencia de redobles en diversas dinámicas, ritmos claros, una secuencia con variaciones de ritmo, crescendo hacia el final y decrescendo en el último compás (Figura 4).

**Timbal:** Pasaje musical con las notas "La" para el timbal de 29 pulgadas y "Re" para el de 26. Esta elección nos pareció la más adecuada ya que para estos dos timbales, La-Re es una de las cuartas perfectas que se pueden obtener (Figura 5). Esto se explica a la perfección en [12].

**Marimba:** Pasaje rítmico y animado, utilizando una sencilla progresión armónica que dinamiza su interpretación y facilita su audición (Figura 6).



Figura 4.- Pasaje escrito para la caja



Figura 5.- Pasaje escrito para el timbal



Figura 6.- Pasaje escrito para la marimba

### 2.3 Selección de recintos del CSMV

El criterio de selección de recintos se ha basado en el uso que los estudiantes de percusión hacen de los mismos. Buscamos conocer la percepción de la respuesta sonora de los diferentes instrumentos de percusión en las salas del CSMV que les son propias. Por ello, los espacios seleccionados han sido los siguientes (Figura 7):

#### 1.- Cabina de estudio de percusión 208

Responde a una figura aproximadamente cúbica y su uso está limitado al estudio con instrumentos de percusión. Dispone de paneles absorbentes que envuelven completamente la sala.

#### **2.- Aula de percusión 027**

Volumen aproximadamente cúbico. En este recinto se imparten las clases de percusión del CSMV. La sala posee varios paneles de lana de roca para limitar la reverberación.

#### **3.- Aula de orquesta 102**

Paralelepípedo de planta sensiblemente rectangular. Su uso principal engloba ensayos de conjunto (orquesta, agrupaciones de cámara, etc.) aunque también se utiliza para audiciones y recitales. Las paredes disponen de grandes cortinas correderas a lo largo y ancho de la sala, cuya utilidad es cambiar a voluntad la absorción del recinto, pudiendo simular la absorción que el público asistente a un concierto genera frente a la orquesta.

#### **4.-Auditorio del Conservatorio**

Planta rectangular estilo shoebox, con un anfiteatro posterior. Geométricamente este tipo de paralelepípedos han dado lugar a los auditorios decimonónicos cuya acústica se considera, aun hoy, la óptima para la música sinfónica [13]. Uso: Conciertos, operas, recitales, etc. El auditorio posee, en las paredes laterales del público, difusores a base de láminas verticales de madera de distinto grosor y separación, similares a los difusores cuadráticos comerciales QRD.



Figura 7.- Cabina de estudio 208 (arriba izq.), Aula percusión 027 (arriba der.),  
Aula de orquesta 102 (abajo izq.), Auditorio del Conservatorio (abajo der.)

### 2.4 Parámetros psicoacústicos. Modelo de Zwicker

Mediante la determinación de una serie de parámetros psicoacústicos (loudness, roughness, sharpness, tonality y fluctuation strength) se puede establecer un criterio comparativo para caracterizar la calidad sonora con el cálculo del agrado y la molestia que cada instrumento produce, siguiendo el modelo de agradabilidad propuesto por Zwicker [14]. Este cálculo se ha realizado utilizando el software ARTEMIS de Head Acoustics [15].

El **loudness** es la medida de la percepción humana de la intensidad del sonido, cuya unidad es el 'sonio' (del latín 'sonare') y se define como la sonoridad de un tono sinusoidal de frecuencia 1 kHz a un nivel sonoro de 40 dB. La escala de sonoridad se caracteriza por el hecho de que un tono percibido con el doble de intensidad es percibido en la escala de sonoridad como dos sonios.

El **roughness** se utiliza en la evaluación subjetiva de la percepción sonora y también para el diseño de sonido. Ante emisiones de ruido de alta intensidad, el valor del roughness es elevado, percibiéndose por lo general más agresivo y molesto, incluso si, por ejemplo, la intensidad o nivel de presión sonora con filtro A se mantiene sin cambios. El 'asper' es la unidad básica para el roughness. La detección de este parámetro se produce cada vez que hay una envolvente variable de tiempo en una banda crítica, por ejemplo, cuando los tonos muestran una estructura temporal debida a la variación en amplitud o en frecuencia. Si estos cambios se producen muy lentamente (por debajo de 10 Hz), el oído humano es capaz de capturar los cambios que ocurren en una pulsación o batimento. El sonido con variaciones en la envolvente entre 20 y 300 Hz se percibe áspero. Por encima de estas frecuencias, la línea principal del espectro y las bandas laterales de modulación de la amplitud de los tonos puros son audibles como notas individuales.

La impresión del roughness disminuye de forma importante a frecuencias muy altas o muy bajas, es decir, la dependencia con la frecuencia de modulación se caracteriza como un filtro pasa banda. Esta impresión se maximiza a una modulación de frecuencia en torno a los 70 Hz.

El **sharpness** mide la sensación a los componentes de alta frecuencia en un ruido dado. Su unidad es el 'acum' (del latín 'acum', afilado). También describe de forma lineal la sensación del oído humano. El valor de un acum se atribuye a un ruido de banda estrecha a 1 kHz con un ancho de banda de menos de 150 Hz y un nivel de 60 dB. La contribución de los tonos de la tonalidad depende de su frecuencia. Al alrededor de 700 Hz, se consigue la impresión de máxima tonalidad.

La **fluctuation strength** está determinada por las variaciones de la señal con frecuencias muy bajas de modulación. El máximo de esta cantidad psicoacústica se produce para modulaciones de frecuencia alrededor de los 4 Hz. La unidad, denominada 'vacil', se define para el mismo tono sinusoidal que en el caso del roughness, pero la frecuencia de modulación es de 4 Hz en lugar de 70 Hz.

**Modelos psicoacústicos:** Un elemento clave en estos atributos perceptuales básicos es que su modelado permite una cuantificación objetiva, o de forma equivalente que el valor subjetivo del atributo podría ser cuantificado a partir de las características físicas de la señal. Por lo tanto, se ha calculado la variación temporal de los parámetros especificados, aplicando el modelo Zwicker [14] para la molestia/agradabilidad (nuisance/pleasantness) a las grabaciones obtenidas en cada una de las premisas.

### 2.5 Elaboración de encuestas online

Mediante el uso de una encuesta online, hemos preguntado por la valoración subjetiva de las grabaciones realizadas de cada uno de los pasajes en cada sala. En esta encuesta se pide la valoración entre 1 y 5 (donde 5 es muy alta y 1 muy baja) de la percepción de cada una de las ejecuciones (se reserva el 0 para NS/NC).

Para el breve diseño de la encuesta online hemos tomado como referencia las encuestas realizadas previamente por nuestro grupo de investigación ACUSVIRT (Grupo de Investigación en Acústica Virtual UPV-UVEG) en el ámbito de proyectos de investigación ministeriales con referencias BIA2003-09306-C04 y BIA2008-05485 [16].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Medidas objetivas

Las características acústicas que hemos calculado en las cuatro salas del Conservatorio objeto de estudio, han sido TR30, D50, C80. La Tabla 2 resume los resultados obtenidos en las medidas realizadas y procesadas en base a la ISO 3382 [17].

Tabla 2- Parámetros acústicos básico de las diferentes salas del CSMV estudiadas

	Freq [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Cabina estudio (S1)	T30 [s]	0,44	0,39	0,28	0,29	0,28	0,41	0,37
	C80 [dB]	9,79	16,23	20,11	19,75	18,00	17,41	19,22
	D50 [%]	79,68	91,49	90,75	93,96	93,35	92,84	94,68
	Freq [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Aula de Percusión (S2)	T30 [s]	1,39	0,89	0,65	0,96	1,15	1,08	0,80
	C80 [dB]	6,50	6,57	11,57	11,70	13,64	13,86	13,03
	D50 [%]	72,25	65,62	81,45	84,10	85,29	87,65	86,32
	Freq [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Aula de Orquesta (S3)	T30 [s]	1,25	0,99	0,92	0,93	0,92	0,90	0,70
	C80 [dB]	5,76	5,25	4,12	5,31	5,92	6,19	7,84
	D50 [%]	66,34	61,23	55,61	60,27	63,24	66,66	71,94
	Freq [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Auditorio (S4)	T30 [s]	1,99	1,33	1,14	1,31	1,38	1,38	1,07
	C80 [dB]	2,48	2,91	1,57	3,13	4,53	3,86	4,77
	D50 [%]	48,37	55,94	47,05	59,18	67,33	61,11	64,51

#### 3.2 Medidas de parámetros psicoacústicos

Usando las grabaciones de los 3 pasajes en cada una de las salas y determinando los diferentes parámetros psicoacústicos de los que depende la formulación del agrado según el modelo de Zwicker hemos obtenido los resultados que se resumen en la Figura 8.

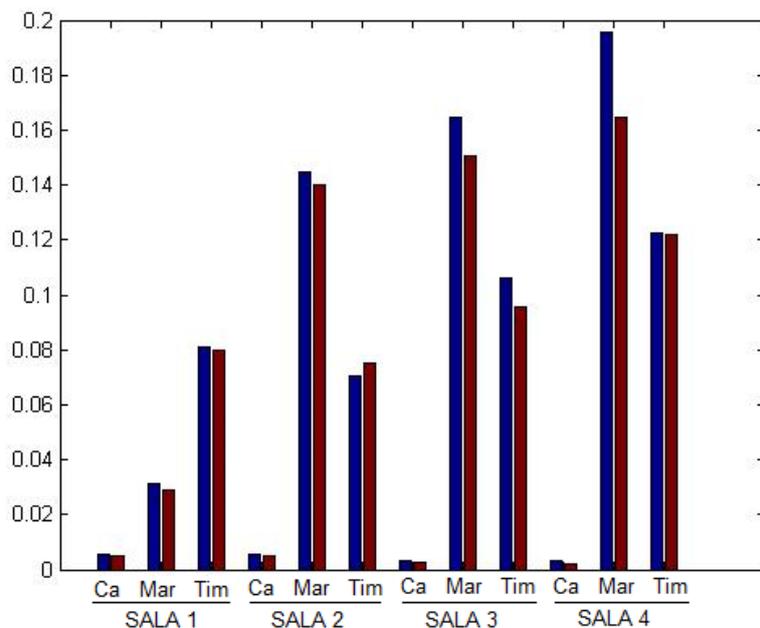


Figura 8.- Determinación del agrado psicoacústico del modelo de Zwicker en la ejecución de los diferentes instrumentos en cada una de las salas.

A medida que crece el tiempo de reverberación de la sala (y a la par disminuyendo la definición y la claridad musical de la sala) se observa una tendencia creciente en el cálculo del agrado según la formulación de Zwicker (Figura 8).

Según los diferentes instrumentos, la caja se mantiene en todos los casos en niveles bajos de agrado, incluso disminuyendo a medida que el T30 aumenta, siendo así el instrumento menos agradable. Por otra parte, la marimba y el timbal resultan más agradable (en términos psicoacústicos según la teoría de Zwicker) a medida que T30 aumenta.

Cabe mencionar que en el caso de la sala 1 (cabina de estudio) el pasaje de marimba resulta menos agradable, según este modelo, que el pasaje de timbal. Esto podría ser debido a que la proximidad del instrumento a la grabadora en esta situación, establece un registro de campo cercano de estos instrumentos.

### 3.3 Evaluación subjetiva de la ejecución en cada sala

La Tabla 3 muestra los valores promedios de esta encuesta (valoraciones del 1 al 5). En ella se observa que el general el instrumento mejor valorado en casi todas las salas es la marimba, coincidiendo con la valoración del modelo de Zwicker.

	S1 (Cabina)	S2 (Aula Percusión)	S3 (Aula Orquesta)	S4 (Auditorio)
Caja	2,21	3,58	3,06	2,55
Timbal	2,32	3,00	3,03	2,71
Marimba	2,41	3,18	3,06	3,27

Por otra parte, observamos que la tendencia de valoración promedio es creciente en cada una de las sala en el caso de la marimba, lo cual coincide con lo que predice el modelo de Zwicker. El comportamiento en el caso del timbal no se ajusta tanto al modelo previo.

#### **4. CONCLUSIONES**

En este trabajo hemos estudiado el efecto que tiene sobre la apreciación subjetiva la ejecución con diferentes instrumentos en diferentes salas. Hemos comprobado que la apreciación subjetiva tiene una tendencia creciente a medida que el tiempo de reverberación aumenta. Esto se verifica mediante el uso del modelo de Zwicker a partir del cálculo de parámetros psicoacústicos.

En el caso de la marimba, la apreciación subjetiva tiene una tendencia de valoración similar a la que plantea el modelo de agrado de Zwicker a medida que aumenta el tiempo de reverberación (T30), mientras que en el caso del timbal no se ajusta tanto. En la comparación entre la valoración promedia de la encuesta y la del modelo de agrado de Zwicker, la caja tampoco sigue exactamente la tendencia seguida por la marimba.

Podríamos decir, por tanto, que la relación entre la valoración subjetiva y los parámetros acústicos de las salas es más apreciable cuando utilizamos instrumentos tonales. Esto explicaría la tendencia igual entre el modelo de agrado de Zwicker y las valoraciones promedias en cada una de las salas de la marimba.

#### **5. AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación mediante el proyecto de investigación BIA2012-36896.

#### **6. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Jones, J.R. y Gatzert, R.A. (1987). Musical percussion instrument construction. *The journal of the acoustical Society of America*, 82(4), 1475.
- [2] Rossing. T.D. (2005). Modes of vibration and sound radiation from percussion instruments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(1), 2540.
- [3] Bork, I., (1995). Practical tuning of xylophone bars and resonators. *Applied Acoustics*, 46(1), 103-127.
- [4] Suits, B.H. (2001). Basis physics of xylophone and marimba bars. *American Journal Of Physics*, 69(7), 743-750.
- [5] Fece, I. (1990). Percussion instrument in the nature of a drum. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 88(6), 2914.
- [6] Barakat, Y.K. (2007). Unique sounding drum. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(2), 691.
- [7] Richardson, P., Toulson, R. y Nunn, D. (2012). Analysis and manipulation of modal ratios of cylindrical drums. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(1), 907.
- [8] Christian, R., Davis, R., Tubis, A., Anderson, C.A., Mills, R. y Rossing, T. (1984). Effects of air loading on timpani membrane vibrations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 76(5), 1336.
- [9] Rickey, M., St. Amant, G. y Smith, W. (1986). A study of air loading of timpani. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 79, 93.

- [10] Fletcher, N. y Rossing, T.D. (1998). *The Physics of Musical Instruments*. 2nd Edition. USA: Springer.
- [11] Ramada, M. (2000). *Atlas de Percusión*. Valencia: Rivera Editores.
- [12] Carroll, R. (2001). *Exercises, Etudes and Solos for the Timpani*. California: Batterie music
- [13] Barba, A. (2011). Salas de Concierto: morfología y acustica, *Música y Educación* nº 85, Madrid, Ed. Musicalis S.A., pp. 106-121.
- [14] Zwicker, E; Fastl, H (1999): Psychoacoustics: facts and models. *Springer Series in Information Sciences*, 2nd Ed.
- [15] ARTEMIS – Psycho-Acoustics Module (Application note). [http://www.head-acoustics.de/downloads/eng/application\\_notes/PsychoacousticAnalysesI\\_06\\_11e.pdf](http://www.head-acoustics.de/downloads/eng/application_notes/PsychoacousticAnalysesI_06_11e.pdf) (visita: 01/08/2014)
- [16] Giménez, A., Cibrián, R., Romero, J., Cerdà S., Miralles, J.L. y Segura, J. (2007) Our experience in subjective perception in concert halls. *19th International Congress on Acoustics. Madrid*.
- [17] UNE-EN ISO 3382 (2001). Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos.