

**Diferencias de percepción sonora entre intérprete y audiencia en iglesias.
Aplicación del modelo de agradabilidad de Zwicker a la audición de
música de órgano**

REFERENCIA PACS: 43.55-Hy, 43.66-Dc, 43.75-Np

Barba, Arturo¹; Segura, Jaume²; Romero, Álvaro³; Cerdá, Salvador⁴; Giménez, Alicia⁴

1 Conservatorio Superior de Música "Joaquín Rodrigo" de Valencia, C/C.R. Muñoz Suay s/n, arturo@arturobarba.com

2 IRTIC, Universitat de València, Poligon de la Coma s/n, jsegura@uv.es

3 Universidad Católica de Valencia "San Vicente Mártir", c/Guillem de Castro, 94, alvaro.romero@ucv.es

4 Dpto. Física Aplicada, ETSII, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n, agimenez@fis.upv.es

ABSTRACT

In the study of worship enclosures there is a high correlation between the acoustic parameters and the sound sensation produced by playing an organ on the church. Moreover, the feeling that the interpreter (located in the console of the organ, usually in the chorus or at a certain height of the ground) have is very different from what the listener perceives from its location on the floor. This paper tries to analyze some of differences based on recordings of works for organ applied pleased Zwicker model to different organs.

RESUMEN

En el estudio de recintos de culto hay una alta correlación entre los parámetros acústicos y la sensación sonora producida al hacer sonar un órgano en el propio recinto. Por otra parte, la sensación que tiene el intérprete, situado en la consola del órgano (normalmente en el coro o a una cierta altura) es muy distinta a la que percibe el oyente desde su ubicación en la planta del edificio. Este trabajo pretende analizar algunas de las diferencias en base a grabaciones de obras organísticas aplicado el modelo de agrado de Zwicker a diferentes órganos.

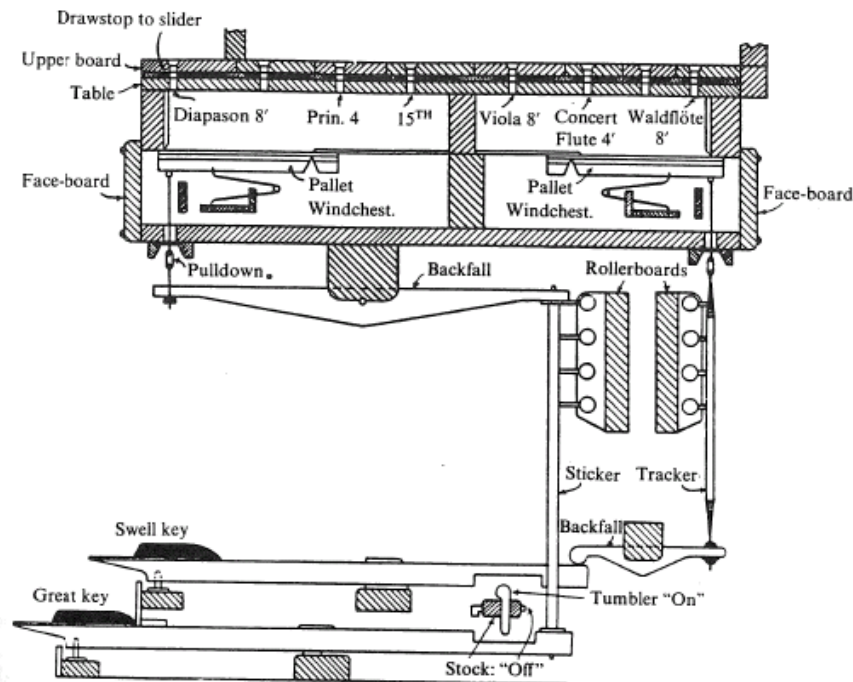
1. INTRODUCCIÓN

El uso de la psicoacústica en procesos de evaluación en acústica musical permite analizar qué instrumentos pueden tener mayor calidad acústica en diferentes recintos. En el caso de la aplicación a la acústica de órganos, la percepción subjetiva depende mucho del recinto donde se ubique el instrumento y de su posición dentro de él.

El órgano de tubos está considerado como el rey de los instrumentos debido a su gran versatilidad sonora y tímbrica, y a su gran complejidad. El órgano es básicamente un instrumento mecánico de viento, en el que cada tubo es un generador simple optimizado para dar una nota con un *loudness* y timbre particular y el mecanismo del órgano dirige el aire a combinaciones específicas de notas (según sean accionadas por el intérprete u organista) para producir el sonido deseado. Los conjuntos de tubos con calidad tonal uniforme con un tubo para cada nota sobre todo un teclado del órgano se llama registro.

La figura 1 resume el mecanismo del órgano en el que cada registro seleccionado acciona una trapa que abre el 'secreto' (caja que conecta con el motor de aire) para seleccionar una fila de

tubos. Cuando el organista acciona una tecla, el mecanismo selecciona un tubo de este registro accionado.



Figuras 1: Esquema del mecanismo interior de un órgano (hasta los registros) [1]

En la tradición española de organería, este instrumento se ubica en el lado izquierdo de la nave de la iglesia (también llamado lado del Evangelio), en una posición intermedia. Los tres órganos estudiados han sido fabricados o restaurados por el taller de organería Berenguer & Díaz, y sus principales características son:

- **Órgano de la Parroquia de Ntra Sra. de la Asunción de Montesa:**

Reconstrucción/restauración llevada a cabo en el año 2001 del antiguo órgano de 1744 obra del organero Martín de Usarralde y Letegui. Tubería nueva, actual. El instrumento muestra las características más comunes de los llamados órganos barrocos ibéricos, con un único teclado de 47 notas partido entre C-C# central, contras diatónicas de pedal y una prominente trompetería de batalla horizontal. De acuerdo a la tradición en estos órganos históricos, la afinación considerada es un tono bajo.

- **Órgano de la Parroquia de la Purísima de Quart de Poblet:**

Órgano de nueva planta realizado a finales de los años 90. Consta de 3 teclados de 56 notas (uno de ellos expresivo) y pedalera completa de 30 notas. Cuenta con 34 juegos y los acoplamientos propios de todo órgano actual.

- **Órgano de la Basílica de Sant Jaume de Algemés:**

Órgano de nueva planta inaugurado parcialmente el pasado 2012 (aún quedan registros por instalar), y aun en fase de construcción (inauguración final prevista para 2013-14). Se trata de un instrumento de grandes dimensiones construido en homenaje a J.B. Cabanilles, natural de Algemés. Consta de 3 teclados de 56 notas (uno de ellos expresivo) y pedalera completa de 30 notas. Cuando esté finalizado, contará con unos 3300 tubos, 54 juegos y los acoplamientos propios de todo órgano actual.

En este trabajo, se ha realizado la evaluación de diferentes interpretaciones organísticas en tres iglesias. Para ello, se ha registrado un pasaje musical de un minuto aproximadamente en la posición del organista y en la posición de un posible oyente (en la planta de cada edificio). El modelo de agrado/desagrado subjetivo sobre el cual se ha basado el estudio es el modelo de Zwicker [2].

2. METODOLOGÍA

El presente estudio trata de analizar las diferencias en la percepción sonora entre el intérprete organista y la audiencia en una iglesia, cuyas características acústicas afectan de manera notable esta percepción. En [3], ya se comprobó que la percepción de agrado/molestia estaba relacionada, principalmente, con el tiempo de reverberación de un recinto (entre otros parámetros acústicos).

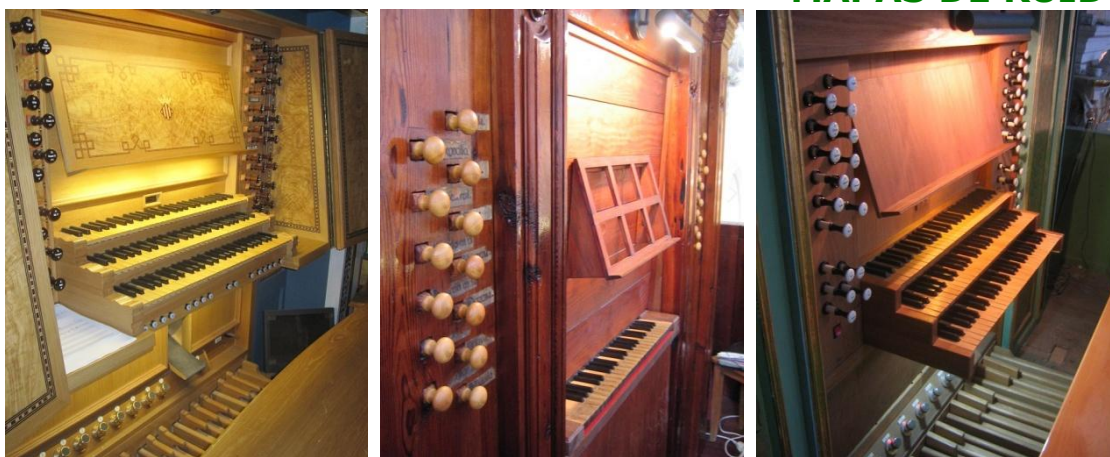
Para estudiar estas diferencias, se ha realizado el mismo experimento en tres iglesias situadas en poblaciones de la provincia de Valencia que poseen órganos construidos por el mismo taller de organería (Berenguer & Díaz). Las iglesias, en las que se vienen realizando conciertos habitualmente y en las que se realizan actos litúrgicos, han sido: la Basílica de Sant Jaume de Algemesí, la iglesia parroquial de Nuestra Señora de la Asunción de Montesa y la iglesia parroquial de la Purísima Concepción de Quart de Poblet (Figuras 2-10)



Figuras 2-4: Vista interior de las iglesias estudiadas.
De izq. a der.: Basílica de Sant Jaume (Algemesí); Iglesia de Ntra. Sra. de la Asunción (Montesa); Iglesia de la Purísima (Quart de Poblet)



Figuras 5-7: Fachada de los órganos objeto de estudio.
De izq. a der.: Basílica de Sant Jaume (Algemesí); Iglesia de Ntra. Sra. de la Asunción (Montesa); Iglesia de la Purísima (Quart de Poblet)



Figuras 8-10: Consola de los órganos objeto de estudio.

De izq. a der.: Basílica de Sant Jaume (Algemés); Iglesia de Ntra. Sra. de la Asunción (Montesa); Iglesia de la Purísima (Quart de Poblet)

A. SELECCIÓN Y GRABACIÓN DE OBRAS MUSICALES

Las obras musicales seleccionadas para este estudio forman parte del repertorio organístico español y se han escogido con el criterio de abarcar un amplio rango temporal de la historia del órgano (siglos XVI al XVIII) y utilizar diferentes registraciones de los instrumentos (principales, llenos y trompetería). La Tabla 1 muestra las obras y características de registración comunes empleadas en los tres órganos. Únicamente se ha utilizado para este estudio el fragmento inicial de cada obra, de aproximadamente un minuto de duración.

Las grabaciones se realizaron entre los meses de Junio y Agosto de 2013 y corrieron a cargo del organista Arturo Barba Sevillano, cofirmante de esta comunicación. Los registros se realizaron con una grabadora portátil modelo Zoom H-1 V2 con 2 micrófonos (XY a 120°), grabando en formato WAV, 24-bits/96kHz PCM lineal.

Tabla 1: Obras musicales grabadas en los diferentes órganos

Título de la Obra	Autor	Cronología del autor	Registración empleada
Diferencias sobre la Gallarda Milanesa	A. de Cabezón	1510-1566 (s. XVI)	Principales (8,8,4)
Batalla Imperial	atr. J.B. Cabanilles	1644-1712 (s. XVII)	Trompetería
Sonata de 6º tono	Juan Moreno Polo	1711-1776 (s. XVIII)	Órgano Pleno

Para el presente estudio se han registrado las mismas tres piezas musicales, tanto en la posición del organista como en una posición en la nave central (próxima al órgano), empleando los mismos registros del órgano. Las piezas interpretadas corresponden a composiciones de los siglos XVI, XVII y XVIII, abarcando los periodos musicales del renacimiento, barroco y clasicismo español. La primera, las Diferencias sobre la Gallarda Milanesa, es una pieza original para órgano de la época del renacimiento español del compositor y organista Antonio de Cabezón (1510-1566); la segunda es la Batalla Imperial, atribuida al compositor y organista del barroco español, Juan Bautista Cabanilles (1644-1712); y la tercera la Sonata de 6º tono del compositor y organista español Juan Moreno y Polo (1711-1776). En concreto los registros empleados en las grabaciones han sido: para la primera pieza la suma del Flautado de 8' (tubo abierto y octava real), del Flautado de 4' (tubo abierto y octava aguda) y de la Flauta/Violón de 8' (tubo cerrado y octava real); para la segunda pieza la trompetería horizontal; y para la tercera el órgano pleno.

Con la realización de las grabaciones se extrae información psicoacústica, para mediante la determinación de una serie de parámetros psicoacústicos (*loudness*, *roughness*, *sharpness*, *tonality* y *fluctuation strength*) establecer un criterio comparativo para caracterizar las diferencias perceptivas debidas a la sala entre el intérprete y la audiencia con el cálculo del agrado y la molestia que su sonido producen, siguiendo el modelo de agradabilidad propuesto

por Zwicker [2]. Este cálculo se ha realizado utilizando el software ARTEMIS de Head Acoustics. Este programa es un potente software empleado para la grabación, el análisis y la reproducción sonora y que ha estado desarrollado para la investigación en el campo de la acústica y de la vibración de forma rápida y eficiente.

1) Loudness

El *loudness* o sonoridad es la medida de la percepción humana de la intensidad del sonido. Este parámetro permite comprender la sensación humana de volumen en escala lineal. La unidad de *loudness* es el 'sonio' (del latín 'sonare'). Esta unidad 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. La sonoridad de tonos simples y sonidos complejos en pruebas auditivas se determina mediante la comparación de la sonoridad con un tono sinusoidal de 1 kHz. La determinación de la sonoridad de señales estacionarias se especifica en la norma ISO 532 B [2][3].

2) Roughness

La *roughness* o rugosidad es un valor que se utiliza en la evaluación subjetiva de la percepción sonora y también para el diseño de sonido. Ante emisiones de ruido altas, el valor de la *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 la *roughness*.

La detección de la *roughness* 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 batido. El aumento de la variabilidad de la frecuencia (aproximadamente hasta 20 Hz) del sonido, puede percibirse como 'R-*roughness*'. Este tipo de rugosidad cambia la impresión de la rugosidad real, en la que el oído no es capaz de localizar los cambios temporales particulares. 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 *roughness* depende de la frecuencia central, la modulación de frecuencia y la profundidad de la modulación. El nivel de la señal tiene una influencia menor en la impresión de la *roughness*.

Al aumentar la profundidad de modulación, la impresión de la *roughness* es más fuerte. La impresión de la *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 pasabanda. Esta impresión se maximiza a una modulación de frecuencia en torno a los 70 Hz. [2][3]

3) Sharpness

La *sharpness* o nitidez mide la sensación a los componentes de alta frecuencia en un ruido dado. La unidad de *sharpness* es el 'acum' (del latín 'acum', afilado). El *sharpness* 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. Este parámetro psicoacústico es muy importante debido a su influencia en lo que de desagradable pueda existir en los sonidos. [2][3]

4) Tonality

La *tonality* o tonalidad de un sonido indica si el sonido contiene componentes tonales o de ruido de banda ancha. La contribución de los tonos de la tonalidad depende de su frecuencia. Al alrededor de 700 Hz, se consigue la impresión de máxima tonalidad. El ruido de banda estrecha con un ancho de banda inferior a 1 Bark, también se percibe como un tono, aunque esta sensación va decreciendo cuando el ancho de banda aumenta. La unidad para la tonalidad es el TU (*tonal unity*), y se define para un tono sinusoidal de 1 kHz con un nivel de 60

dB. [3]

5) Fluctuation strength

La impresión llamada *fluctuation strength* o fuerza de fluctuación 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 de la *roughness*, pero la frecuencia de modulación es de 4 Hz en lugar de 70 Hz. [3]

B. 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 en la sección A, aplicando el modelo Zwicker [2] para la molestia/agrado a las grabaciones obtenidas en cada una de las premisas.

Las fórmulas correspondientes son:

$$\text{Agrado} = e^{-0.7 \cdot R} \cdot e^{-1.08 \cdot S} \cdot (1.24 - e^{-2.43 \cdot T}) \cdot e^{(-0.023 \cdot L)^2}$$

$$\text{Molestia} = L \cdot (1 + \sqrt{W_S^2 + W_{FR}^2})$$

donde:

$$W_S = (S - 1.75) \cdot 0.75 \cdot \log(L + 10)$$

y

$$W_{FR} = \frac{2.18}{L^{0.4}} \cdot (0.4 \cdot F + 0.6 \cdot R)$$

En estas fórmulas los valores asociados son: *Sharpness* (S), *Roughness* (R), *Fluctuation strength* (F), *Loudness* (L) y *Tonality* (T).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las grabaciones realizadas en las dos ubicaciones de las tres iglesias, se han procesado los ficheros obtenidos usando el software ARTEMIS de HeadAcoustics, para obtener los parámetros psicoacústicos que permiten determinar el modelo de Zwicker. Como ya vimos en [4], los resultados del modelo de molestia/agrado correlacionan con el tiempo de reverberación, por lo que suponiendo que esto también se cumple para recintos con reverberación mayor, como son estas iglesias, vamos a comprobar que esta percepción es coherente con este resultado.

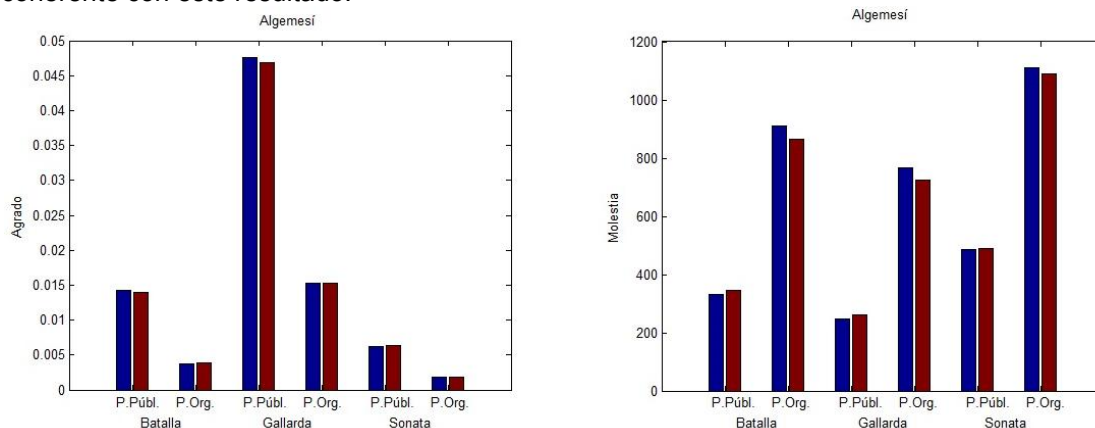


Figura 11: Promedio de molestia/agrado en la posición del público y en la del organista para cada una de las obras interpretadas en la Basílica de Sant Jaume d'Algemesi

Tabla 2: Estadísticos de molestia en los diferentes órganos sobre las obras seleccionadas

	Molestia	Avg_L	Avg_R	Std_L	Std_R	p10_L	p10_R	p50_L	p50_R	p90_L	p90_R
Quart	Sonata público Lleno	307,4	314,7	19,1	20,6	453,8	464,6	318,3	320,0	201,1	202,7
	Sonata organista Lleno	455,9	439,2	43,9	42,7	748,0	720,6	499,8	469,2	177,1	174,6
	Gallarda público 8'8'4'	154,8	145,9	8,5	7,5	225,1	194,3	161,1	156,1	104,3	102,0
	Gallarda organista 8'8'4'	268,3	265,2	18,1	15,6	385,6	365,0	301,3	296,4	137,1	140,7
	Batalla público Tromp.Bat.	1027,5	1021,9	45,2	43,8	1424,3	1419,9	1102,4	1096,8	671,9	670,9
	Batalla organista Tromp.Bat.	2206,5	2337,8	205,1	212,2	3606,3	3745,4	2547,5	2768,5	695,3	687,6
Algemesí	Sonata público Lleno	485,1	489,2	28,5	28,7	706,9	714,3	502,8	510,7	319,9	320,6
	Sonata organista Lleno	1109,3	1089,4	110,4	107,0	1901,3	1898,2	1193,8	1181,3	408,8	378,0
	Gallarda público 8'8'4'	245,8	262,4	17,2	17,7	346,9	362,7	272,2	296,8	169,3	184,3
	Gallarda organista 8'8'4'	765,0	724,6	50,6	40,9	1206,5	1064,7	821,5	786,3	360,8	375,4
	Batalla público Tr8 Cl4 8'4'	332,9	345,4	18,2	18,8	464,2	486,6	366,0	373,2	216,8	228,8
	Batalla organista Tr8 Cl4 8'4'	909,1	865,7	42,8	41,3	1355,7	1295,8	974,6	939,1	455,0	433,3
Montesa	Sonata público Lleno	540,0	537,5	35,0	33,5	794,3	766,6	568,3	554,8	345,5	352,2
	Sonata organista Lleno	629,8	653,4	49,6	50,8	939,3	978,2	680,4	706,1	340,1	348,7
	Gallarda público 8'8'4'	284,0	275,2	28,0	26,7	414,7	402,8	327,8	311,8	153,8	160,1
	Gallarda organista 8'8'4'	386,5	385,5	25,3	24,7	534,3	537,2	436,8	425,9	234,5	227,8
	Batalla público TR8 Cl4 8'4'	1184,7	1188,0	40,1	42,2	1597,9	1628,8	1260,3	1238,5	796,3	787,3
	Batalla organista TR8 Cl4 8'4'	2532,5	2373,5	184,2	166,1	4034,2	3673,1	2864,4	2704,1	957,1	906,8

Tabla 3: Estadísticos de agradabilidad en los diferentes órganos sobre las obras seleccionadas

	Agrado	Avg_L	Avg_R	Std_L	Std_R	p10_L	p10_R	p50_L	p50_R	p90_L	p90_R
Quart	Sonata público Lleno	0,012	0,013	0,244	0,246	0,0059	0,0063	0,01	0,011	0,024	0,026
	Sonata organista Lleno	0,009	0,01	0,206	0,21	0,0034	0,004	0,008	0,009	0,033	0,033
	Gallarda público 8'8'4'	0,093	0,094	0,4	0,399	0,0657	0,0688	0,09	0,088	0,123	0,126
	Gallarda organista 8'8'4'	0,059	0,06	0,348	0,36	0,0359	0,0389	0,057	0,058	0,094	0,09
	Batalla público Tromp.Bat.	0,002	0,002	0,172	0,177	0,0006	0,0006	0,001	0,001	0,005	0,005
	Batalla organista Tromp.Bat.	4E-04	4E-04	0,093	0,095	7,3E-05	7,2E-05	3E-04	3E-04	0,004	0,004
Algemesí	Sonata público Lleno	0,006	0,006	0,2	0,197	0,0027	0,0027	0,005	0,005	0,016	0,017
	Sonata organista Lleno	0,002	0,002	0,111	0,118	0,0004	0,0004	0,001	0,001	0,017	0,015
	Gallarda público 8'8'4'	0,048	0,047	0,319	0,313	0,028	0,0278	0,044	0,042	0,078	0,078
	Gallarda organista 8'8'4'	0,015	0,015	0,234	0,24	0,0067	0,0069	0,014	0,014	0,037	0,038
	Batalla público TR8 Cl4 8'4'	0,014	0,014	0,252	0,25	0,0071	0,0068	0,013	0,013	0,026	0,027
	Batalla organista TR8 Cl4 8'4'	0,004	0,004	0,197	0,2	0,0012	0,0013	0,003	0,004	0,013	0,013
Montesa	Sonata público Lleno	0,007	0,007	0,211	0,212	0,0028	0,0031	0,006	0,006	0,019	0,019
	Sonata organista Lleno	0,005	0,005	0,185	0,18	0,002	0,0019	0,004	0,004	0,019	0,02
	Gallarda público 8'8'4'	0,046	0,047	0,304	0,306	0,0258	0,0277	0,039	0,04	0,088	0,082
	Gallarda organista 8'8'4'	0,029	0,029	0,293	0,301	0,0164	0,0167	0,026	0,026	0,048	0,05
	Batalla público TR8 Cl4 8'4'	0,002	0,002	0,202	0,203	0,0008	0,0008	0,002	0,002	0,006	0,006
	Batalla organista TR8 Cl4 8'4'	4E-04	5E-04	0,102	0,115	7,7E-05	0,0001	3E-04	4E-04	0,004	0,005

Sobre los resultados presentados en las tablas 2 y 3 podemos decir que en la posición del organista, la molestia (ponderada principalmente por el *loudness*) será siempre mayor que en la propia sala, ya que al estar en campo cercano, el organista recibe mayor cantidad de energía sonora que el resto de los oyentes situados en la planta de la sala.

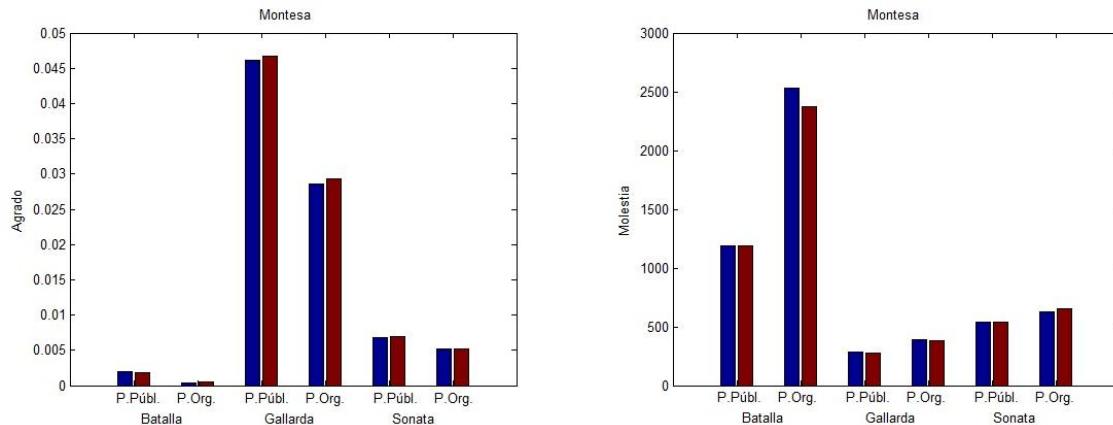


Figura 12: Promedio de molestia/agrado en la posición del público y en la del organista para cada una de las obras interpretadas en la iglesia de Ntra. Sra. de la Asunción de Montesa

Observando los valores promedio, en las figuras 11, 12 y 13, vemos que en los tres casos la obra más molesta (en relación a la sensación sonora producida) es la Batalla Imperial de Cabanilles. Esta sensación de molestia/agrado está relacionada con el tipo de registración utilizada. Cabe destacar que a pesar de ser el órgano más grande de los tres, el de Algemesí produce la menor molestia, ya que al no estar acabado, los registros que podrían ocasionar mayor molestia, como es la trompetería de batalla u horizontal, no han sido utilizados, sustituyéndolos por una combinación que puede causar un efecto sonoro similar (trompeta real, clarín 4', 8' y 4').

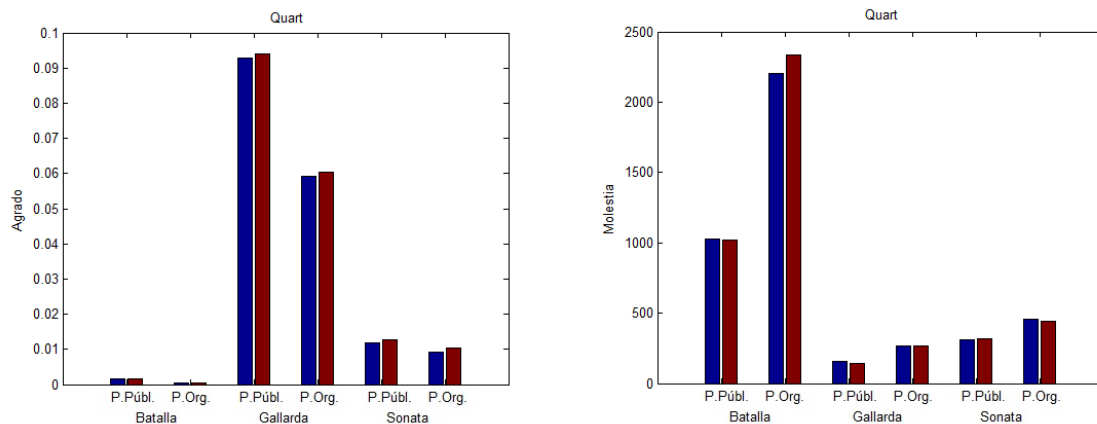


Figura 13: Promedio de molestia/agrado en la posición del público y en la del organista para cada una de las obras interpretadas en la iglesia de la Purísima de Quart de Poblet

Además vemos que la Gallarda de Cabezón es la que mayor sensación de agrado produce en todos los casos. Esta obra permite observar con mayor claridad la relación entre los parámetros acústicos y la sensación sonora. En la figura 11 y 13, vemos que la diferencia entre el agrado en la posición del organista y la del observador en el público se puede determinar en relación al volumen de la sala (y su tiempo de reverberación) y el volumen sonoro del instrumento. El caso de Montesa destaca por ser una iglesia mediana con un instrumento relativamente grande y potente para su tamaño.

5. CONCLUSIÓN

En este artículo hemos analizado la calidad sonora de tres órganos en tres iglesias diferentes de la provincia de Valencia. Se ha considerado el efecto del instrumento como fuente compleja en sí mismo (en la posición del organista) y dentro de la sala que lo contiene (en la posición del espectador). Para el análisis se ha utilizado el modelo de agrado/desagrado de Zwicker.

Se han utilizado como sonidos fuente para el análisis tres obras de diferentes autores y épocas en los tres recintos. Como primera impresión de los instrumentos, el organista es siempre el que mayor molestia recibe ya que el *loudness* percibido es mucho mayor que en las otras posiciones. Por otra parte, podemos decir que este *loudness* se mantiene quasi-constante a lo largo de la planta de cada iglesia [5].

Sobre las obras interpretadas podemos apreciar que la Batalla Imperial atribuida a Cabanilles es la que produce una molestia mayor debido al timbre y potencia de los registros utilizados para su interpretación, mientras que la Gallarda de Cabezón es la más agradable en términos de los valores obtenidos a partir del modelo.

Finalmente, hemos preparado una encuesta online para preguntar a diferentes grupos de oyentes (expertos acústicos, músicos y gente sin formación acústica ni musical) la valoración que hacen de estas interpretaciones en los tres recintos y en cada posición. Esta consulta se encuentra en proceso de realización.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto de investigación BIA2012-36896.

7. REFERENCIAS

- [1] N. Fletcher & Th. Rossing; "The Physics of Musical Instruments". 2nd Edition. Springer, 1998
- [2] Zwicker, E; Fastl, H: Psychoacoustics: facts and models. Springer Series in Information Sciences, 2nd Ed, 1999.
- [3] Segura, J.; Cerdà, S.; Montell, R.; Romero, J.; Cibrián, R; Giménez, A.; "Psychoacoustic Parameters as a Tool for Subjective Assessment in Catering Premises". Journal of Advances in Applied Acoustics (online: <http://www.seipub.org/AIAAS/paperInfo.aspx?ID=5641>) (visita: 10/08/2013).
- [4] ARTEMIS – Psycho-Acoustics Module (Application note). http://www.head-acoustics.de/downloads/eng/application_notes/PsychoacousticAnalysesI_06_11e.pdf (visita: 02/08/2013).
- [5] Harrison JM, Thompson-Allen N; "Constancy of loudness of pipe organ sounds at different locations in an auditorium". J Acoust Soc Am. 2000 Jul;108(1):389-99.