

## **Análisis de la calidad sonora de diferentes guitarras eléctricas**

REFERENCIA PACS: 43.75.Zz, 43.75.Fg

Segura, Jaume<sup>2</sup>; Romero, José<sup>1</sup>; Blesa, Alan<sup>1</sup>; Cerdá, Salvador<sup>1</sup>; Giménez, Alicia<sup>1</sup>

1 Dpt Física Aplicada, ETSII, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n,  
2 IRTIC, Universitat de València, Poligon de la Coma s/n, jsegura@uv.es

### **ABSTRACT**

Analyzing the signal from the psychoacoustic perspective allow us to evaluate the subjective perception, with a high degree of correlation. The Zwicker model calculates the subjective factor with four psychoacoustic parameters: loudness, sharpness, roughness, fluctuation strength and tonality.

In this study we analyzed different models of electric guitars from the psychoacoustic model proposed by Zwicker and Fastl. From this perspective we evaluate the perception of the sound quality of the different guitars used in this study.

### **RESUMEN**

El análisis de la señal desde el punto de vista psicoacústico permite evaluar la percepción subjetiva, con un alto grado de correlación. El modelo de agrado de Zwicker permite calcular este factor subjetivo a partir de cuatro parámetros psicoacústicos: loudness, sharpness, roughness fluctuation strength y tonalidad.

En este estudio hemos analizado diferentes modelos de guitarras eléctricas a partir del modelo psicoacústico de agrado propuesto por Zwicker y Fastl. A partir de él, se evalúa la percepción de la calidad sonora de las diferentes guitarras utilizadas en el estudio.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El uso de la psicoacústica en procesos de diseño y evaluación en acústica musical permite crear y diseñar instrumentos que pueden tener mayor calidad acústica. En el caso de la aplicación a la acústica de instrumentos de cuerda para música moderna, es interesante considerar el caso de la guitarra eléctrica. En este instrumento se utiliza el principio de inducción electromagnética para convertir las vibraciones de sus cuerdas en señales eléctricas. Su sonido se ve principalmente influenciado por el material empleado en la construcción del instrumento (trasteado, afinación, octavación), así como la calidad de sus pastillas.

En general, la señal generada por la guitarra eléctrica es relativamente débil, ésta se amplifica antes de enviarla al altavoz. Para ello, la llamada pastilla será la encargada de transformar la vibración mecánica en señal eléctrica para poder ser debidamente tratada por un amplificador eléctrico. Esta señal de salida podrá ser alterada mediante circuitos electrónicos para modificar algunos aspectos del sonido. Los llamados pedales de efectos suelen ser las interfaces que permiten el procesamiento de la señal de la guitarra (entre los más usuales encontramos el de reverb y el de distorsión).

Este instrumento fue concebido en 1931, a partir de la necesidad de los músicos de jazz que trataban de amplificar su sonido. Desde entonces ha sido posible utilizar este instrumento para múltiples estilos y gran capacidad de generación de efectos.

A pesar que con la tecnología digital moderna se ha refinado considerablemente la generación y presentación sonora, el propósito de los experimentos psicoacústicos es aún el mismo: trazar y modelar tanto como sea posible las bases físicas de la percepción auditiva. Este concepto ha resultado de éxito por muchos años. Por ejemplo, los primeros estudios psicoacústicos realizados por los Laboratorios Bell [1] ayudaron a mejorar significativamente las comunicaciones telefónicas. En este contexto, cabría mencionar que la psicoacústica ha sido sustancialmente provechosa en la investigación en telecomunicaciones, ya que los ingenieros normalmente no dejan su investigación básica, si no que buscan también aplicaciones prácticas de los resultados conseguidos, no es sorprendente que los datos de investigaciones básicas en psicoacústica encuentren resonancia en aplicaciones prácticas [2]

Obviamente, también se encuentran vínculos muy fuertes entre la psicoacústica aplicada y la acústica musical. Uno de los campos más prominentes de conocimiento en este sentido es la evaluación y diseño de la calidad sonora de instrumentos musicales y otros productos de la vida cotidiana.

En este trabajo, se ha realizado la evaluación de diferentes guitarras eléctricas en base a su calidad sonora y diferentes técnicas interpretativas. Para ello, se ha registrado un pasaje musical utilizando dos modelos de guitarra eléctrica (Gibson Les Paul y Fender Stratocaster) y considerando dos técnicas interpretativas (con pua y sin pua). Además se ha considerado en este estudio la posibilidad que el volumen de la interpretación pudiese afectar en el agrado de la evaluación de la calidad sonora. El modelo sobre el cual se ha basado el estudio es el modelo de Zwicker, que ha sido contrastado con un pequeño conjunto de encuestas a un grupo de expertos.

## **2. METODOLOGÍA**

En este estudio sobre la calidad sonora de guitarras eléctricas hemos utilizado 2 modelos de guitarra, una Fender Stratocaster y una Gibson Les Paul, interpretando un pasaje musical con cinco pastillas y dos técnicas diferentes (con pua y sin pua).

El registro de sonido, que luego nos servirá para el estudio psicoacústico, se ha empleado una grabadora digital EDIROL R-09, con 2 micrófonos (en disposición XY). Los registros se han realizado aproximadamente a unos 2 metros del altavoz que emite el sonido amplificado de la guitarra para obtener una medida representativa.

A partir de estos registros del sonido musical y mediante la determinación de una serie de parámetros psicoacústicos (loudness, roughness, sharpness, tonalidad y fluctuation strength) podemos establecer un criterio comparativo de calidad sonora de los diferentes instrumentos a partir del cálculo del modelo de molestia/placer en cada uno de ellos. El cálculo de estos parámetros se ha realizado mediante el software de HeadAcoustics, ARTEMIS. Éste es un software para grabación, análisis y reproducción, desarrollado para llevar a cabo tareas en el campo de la acústica y las vibraciones de forma rápida y eficiente.

### **2.1 Loudness**

El loudness es el valor de sensación de la percepción humana al volumen de sonido. Mediante este parámetro se puede entender la sensación humana de volumen sonoro en escala lineal. La unidad del loudness es el "sonio" (derivado del latín "sonare"). Esta unidad se establece por definición como un tono sinusoidal de frecuencia 1 kHz con un nivel de 40 dB. La escala del loudness se caracteriza por el hecho que un tono que se percibe con el doble de loudness sobre la escala de loudness viene denotado como el valor doble de sonios. El loudness de tonos simples y sonidos complejos se determina in tests auditivos mediante comparación del loudness con el tono sinusoidal a 1 kHz. La determinación del loudness de señales estacionarias ha sido especificada en la norma ISO 532 B. [3]

## **2.2 Roughness**

El parámetro de roughness se utiliza en evaluación subjetiva de impresiones sonoras y para diseño de sonidos. Con un roughness mayor, las emisiones de ruido se perciben como más perceptibles y normalmente como más agresivas y molestas, incluso si, por ejemplo, el loudness o el nivel de presión sonora con filtro A permanecen invariables. Su unidad básica es el 'asper'.

La impresión de aspereza (roughness) se produce siempre que existe un envolvimiento variable temporalmente en una banda crítica, por ejemplo, cuando los tonos muestran una estructura temporal debida a una variación de su amplitud o frecuencia. Si estas variaciones se producen muy lentamente (por debajo de 10 Hz), el oído humano es capaz de captar los cambios que producen en una impresión de pulsación o beat. Aumentando la frecuencia de la variación, se pueden percibir otras impresiones sonoras, como el "R-roughness" (alrededor de 20 Hz), la cual cambia la impresión de roughness real, donde el oído no es capaz de localizar los cambios temporales particulares. Los sonidos con variaciones de envolvimiento entre 20 y 300 se perciben como ásperos. Por encima de estas frecuencias, la línea espectral principal y las bandas laterales de tonos puros de amplitud modulada resulta audible como tonos individuales. El roughness depende de la frecuencia central, la frecuencia de modulación y la profundidad de modulación. El nivel de señal sólo tiene una influencia menor sobre la impresión de roughness.

Aumentando la profundidad de modulación, la impresión de roughness es más fuerte. La dependencia con la frecuencia de modulación tiene una característica pasabanda, i.e. la impresión de roughness decrece fuertemente hacia frecuencias muy altas o muy bajas. Esta impresión maximiza en una frecuencia de modulación cerca de 70Hz. [3]

## **2.3 Sharpness**

El sharpness es un valor de sensación que es causada por componentes de alta frecuencia en un ruido dado. La unidad de sharpness es "acum" (del latín acum = agudo). El sharpness perfila la sensación humana también de manera lineal. El valor de 1 acum se atribuye a un ruido de banda estrecha a 1 kHz con un ancho de banda menor que 150 Hz y un nivel de 60 dB. El sharpness es un parámetro psicoacústico muy importante debido a su influencia en el desagrado de sonidos. [3]

## **2.4 Tonality y Fluctuation Strength**

La tonalidad de un sonido indica si el sonido contiene componentes tonales o ruido de banda ancha. La contribución de tonos a la tonalidad depende de su frecuencia. A unos 700 Hz, se alcanza la impresión de máxima tonalidad. El ruido de banda estrecha con un ancho de banda menor que 1 Bark, también se percibe como tonal, aunque en un grado decreciente con ancho de banda creciente. La unidad de tonalidad, tu (tonality unit), se define para un tono sinusoidal de 1 kHz con un nivel de 60 dB. [3]

La impresión llamada fluctuation strength (fuerza fluctuante) viene dada por las variaciones de señal con frecuencias de modulación muy bajas. El máximo de esta cantidad psicoacústica está a frecuencias de modulación alrededor de 4 Hz. La unidad, 'vacil' viene definida por el mismo tono sinusoidal que en el caso del roughness, excepto porque la frecuencia de modulación es 4 Hz en vez de 70 Hz. [3]

## **2.5 Modelo psicoacústico de Zwicker**

Un elemento clave de estos atributos perceptivos básicos es que su modelización permita una cuantificación objetiva, o equivalentemente que a partir de las características físicas de la señal en cuestión pueda cuantificarse el valor subjetivo del atributo. Por ello, a partir de los registros obtenidos en cada uno de los locales y del cálculo de la variación temporal de los parámetros especificados anteriormente, hemos podido aplicar y determinar los modelos de molestia/agrado de Zwicker [2].

Las fórmulas que corresponden a estos modelos son:

$$\text{Agrado} = e^{-0.7 \cdot R} \cdot e^{-1.08 \cdot S} \cdot (1.24 - e^{-2.43 \cdot T}) \cdot e^{(-0.023 \cdot L)^2} \quad (1)$$

$$\text{Molestia} = L \cdot (1 + \sqrt{w_S^2 + w_{FR}^2}), \quad (2)$$

donde:

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

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

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

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Cálculos de molestia y agrado

Las interpretaciones registradas con las dos guitarras implicadas en este estudio han sido procesadas mediante el software ARTEMIS de HeadAcoustics para obtener la variación temporal de los parámetros anteriormente explicados para aplicar el modelo de Zwicker [2]. A partir de la variación temporal de estos parámetros hemos calculado los estadísticos característicos (promedio, desviación estándar y percentiles 10, 50 y 90).

	Avg		Std		p10		p50		p90	
	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
Molestia_Med_Fender1cp	1606,73	1546,30	567,53	523,81	5094,06	4884,27	1504,65	1507,07	85,40	92,78
Molestia_Med_Fender1sp	1361,22	1329,67	490,84	453,68	4661,61	4434,92	1069,16	1057,68	110,68	125,23
Molestia_Med_Fender2cp	1605,11	1566,99	525,22	493,02	5014,82	4832,59	1487,69	1479,60	100,33	115,05
Molestia_Med_Fender2sp	1368,03	1363,64	580,83	562,98	5583,34	5573,46	898,87	914,68	100,31	116,93
Molestia_Med_Fender3cp	1792,12	1708,54	562,79	512,54	5381,33	5036,32	1715,05	1670,67	93,26	108,32
Molestia_Med_Fender3sp	1464,68	1411,48	535,07	492,28	5300,28	5069,44	1079,68	1046,98	136,06	152,22
Molestia_Med_Fender4cp	1828,55	1760,76	636,15	583,05	6111,36	5654,69	1616,93	1603,69	111,79	118,11
Molestia_Med_Fender4sp	1590,49	1530,06	587,52	541,14	5883,71	5632,08	1119,32	1110,14	154,67	156,53
Molestia_Med_Fender5cp	1906,62	1821,78	551,17	504,10	5360,16	5064,64	1923,34	1832,48	108,65	124,96
Molestia_Med_Fender5sp	1495,55	1441,06	583,88	539,45	5670,30	5317,89	1102,01	1051,56	100,75	121,27
Molestia_Med_Gibson1cp	1269,53	1239,86	541,02	510,62	4743,93	4512,82	1222,54	1145,07	78,89	90,53
Molestia_Med_Gibson1sp	1522,50	1511,92	554,34	542,35	5612,51	5541,68	1088,08	1097,38	127,05	142,02
Molestia_Med_Gibson2cp	1558,64	1508,95	479,94	443,57	4779,05	4471,70	1573,32	1513,51	114,32	128,98
Molestia_Med_Gibson2sp	1683,64	1608,65	526,67	489,96	5850,70	5589,55	1258,75	1169,18	198,95	200,31
Molestia_Med_Gibson3cp	1618,64	1511,85	482,77	431,02	4881,97	4456,19	1742,77	1612,16	126,52	136,51
Molestia_Med_Gibson3sp	1403,85	1332,17	545,09	497,11	5382,34	5082,75	1021,24	997,23	107,19	117,29

**Tabla 1:** Estadísticas de molestia de las dos guitarras con diferentes pastillas (con y sin púa)

Observando los valores promedios de la molestia en la tabla 1 vemos que las interpretaciones con las diferentes pastillas en la guitarra Fender Stratocaster tienen un comportamiento similar en las interpretaciones con y sin púa, ya que con púa los valores de la molestia son mayores que sin púa. Por el contrario, en la guitarra Gibson Les Paul la tendencia es inversa, ya que las interpretaciones sin púa son las que producen mayor molestia excepto en la tercera pastilla en

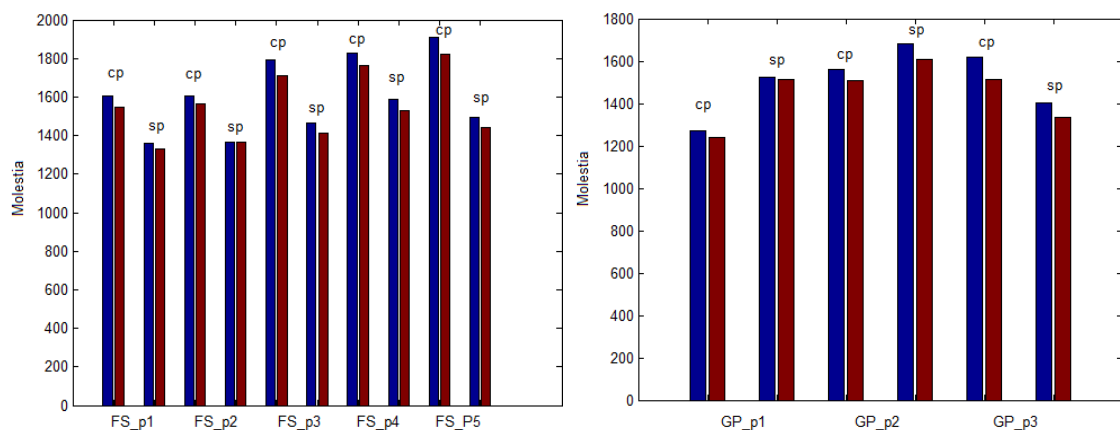
la que la interpretación con púa produce mayor molestia. La figura 1 muestra gráficamente la tendencia expuesta.

Un comportamiento parecido se observa en la tabla 2 con el agrado. En esta ocasión son las interpretaciones con púa las que producen menor agrado con la guitarra Fender, mientras que con la Gibson se obtienen valores promedios mayores interpretando sin púa (excepto con la tercera pastilla).

	Avg		Std		p10		p50		p90	
	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
Agrado_Med_Fender1cp	0,00152	0,00152	0,04635	0,04887	0,00004	0,00004	0,00238	0,00230	0,02214	0,02072
Agrado_Med_Fender1sp	0,00218	0,00208	0,04649	0,04753	0,00004	0,00004	0,00414	0,00406	0,02380	0,02198
Agrado_Med_Fender2cp	0,00118	0,00113	0,03866	0,03764	0,00002	0,00002	0,00188	0,00188	0,01900	0,01916
Agrado_Med_Fender2sp	0,00160	0,00141	0,02996	0,02812	0,00001	0,00001	0,00438	0,00407	0,02486	0,02363
Agrado_Med_Fender3cp	0,00102	0,00107	0,04153	0,04518	0,00002	0,00002	0,00163	0,00169	0,01895	0,01833
Agrado_Med_Fender3sp	0,00156	0,00153	0,03635	0,03822	0,00002	0,00002	0,00342	0,00335	0,02548	0,02282
Agrado_Med_Fender4cp	0,00090	0,00086	0,03177	0,03272	0,00001	0,00001	0,00179	0,00170	0,01554	0,01465
Agrado_Med_Fender4sp	0,00129	0,00122	0,02722	0,02828	0,00001	0,00001	0,00325	0,00302	0,02583	0,02411
Agrado_Med_Fender5cp	0,00068	0,00070	0,03372	0,03604	0,00001	0,00001	0,00116	0,00122	0,01492	0,01363
Agrado_Med_Fender5sp	0,00110	0,00107	0,03008	0,03147	0,00001	0,00001	0,00276	0,00275	0,01742	0,01560
Agrado_Med_Gibson1cp	0,00259	0,00232	0,05033	0,04933	0,00005	0,00004	0,00386	0,00362	0,02043	0,01828
Agrado_Med_Gibson1sp	0,00186	0,00159	0,03830	0,03517	0,00002	0,00001	0,00453	0,00414	0,02348	0,01992
Agrado_Med_Gibson2cp	0,00167	0,00156	0,04299	0,04494	0,00003	0,00003	0,00263	0,00257	0,02248	0,01875
Agrado_Med_Gibson2sp	0,00136	0,00127	0,03151	0,03131	0,00001	0,00001	0,00332	0,00322	0,02121	0,02018
Agrado_Med_Gibson3cp	0,00172	0,00181	0,04977	0,05394	0,00004	0,00005	0,00234	0,00248	0,01999	0,01789
Agrado_Med_Gibson3sp	0,00245	0,00240	0,04239	0,04451	0,00003	0,00003	0,00549	0,00526	0,02371	0,02233

**Tabla 2:** Estadísticas de agrado de las dos guitarras con diferentes pastillas (con y sin púa)

En el caso de interpretar con un volumen menor, las tendencias de comportamiento tanto de molestia como de agrado se mantienen, con la única salvedad de la pastilla 2 de la guitarra Gibson.



**Figura 1:** Representación de la molestia de acuerdo con el modelo de Zwicker para las diferentes guitarras y pastillas

### 3.2 Encuesta

A partir de las grabaciones realizadas hemos realizado una pequeña encuesta a 7 expertos que han evaluado el agrado de las interpretaciones con las dos guitarras, las diferentes pastillas y sus correspondientes interpretaciones.

Las valoraciones de la guitarra Fender Stratocaster y Gibson Les Paul con y sin púa se pueden resumir a partir del promedio y la moda de las respuestas. La tabla 3 contiene la información relativa a cada una de las variantes.

Fender Stratocaster					
Con púa	P1	P2	P3	P4	P5
promedio	4,00	4,00	2,71	3,43	3,29
desv est	0,82	0,82	1,11	0,79	1,38
moda	4	4	3	4	4
Sin púa	P1	P2	P3	P4	P5
promedio	3,71	2,71	3,71	2,00	2,43
desv est	0,76	0,95	0,49	0,82	0,79
moda	3	3	4	2	3

Las valoraciones subjetivas de la Fender son mejores en las interpretaciones con púa para todas las pastillas excepto en el caso de la tercera pastilla. Esto contrasta con la relación que establece el modelo de molestia/agrado de Zwicker, cuya tendencia es contraria a esta valoración. Esto podría deberse a que los gustos de los expertos en este sentido está muy orientado a un tipo específico de música.

Gibson Les Paul			
Con púa	P1	P2	P3
promedio	3,43	2,43	2,00
desv est	0,53	0,79	0,58
moda	3	3	2
Sin púa	P1	P2	P3
promedio	3,14	2,86	3,43
desv est	0,38	0,90	0,53
moda	3	2	3

Las valoraciones subjetivas de la Gibson son muy similares en las interpretaciones con y sin púa para todas las pastillas excepto en el caso de la tercera pastilla. Este comportamiento es muy similar a la relación que establece el modelo de molestia/agrado de Zwicker para esta guitarra.

## 5. CONCLUSIÓN

En este artículo hemos analizado la calidad sonora de dos tipos de guitarra con 5 y 3 tipos de pastillas respectivamente, considerando interpretaciones con y sin púa. Hemos realizado una primera valoración por medio del modelo psicoacústico de Zwicker y hemos realizado una valoración subjetiva de contraste mediante "listening tests".

Los resultados obtenidos con el modelo de Zwicker permiten establecer una mejor valoración de las interpretaciones sin púa que con púa en el caso de la guitarra Fender para todas las pastillas. Esto puede deberse a que esta guitarra es más aguda y más estridente que la Gibson. Sin embargo, en la valoración subjetiva de esta guitarra se pondera la interpretación con púa, probablemente debido a una preferencia musical.

En el caso de la guitarra Gibson es más complejo, ya que los valores de la molestia/agrado a partir del modelo de Zwicker no siguen una tendencia uniforme para las tres pastillas, aunque sí que se aprecia mejores valoraciones en el agrado que en el caso de la Fender. En el caso de las valoraciones subjetivas, se observa una tendencia similar a la que tiene el agrado con un volumen menor. El mejor agrado y su valoración por el grupo de expertos considerado en esta guitarra puede ser debido a que la guitarra Gibson Les Paul tiene un timbre más cálido y menos estridente, lo cual no es la preferencia del grupo de personas encuestadas.

Para un trabajo futuro, sería interesante considerar un número mayor de guitarras y un grupo de expertos más heterogéneo para permitir un mayor ajuste entre el modelo y las respuestas subjetivas.

## **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] Jont B. Allen, "Harvey Fletcher's role in the creation of communication acoustics," *Journal of the Acoustical Society of America*, 99(4), 1825-1839 (1996).
- [2] Zwicker, E; Fastl, H: *Psychoacoustics: facts and models*. Springer Series in Information Sciences, 2<sup>nd</sup> Ed, 1999.
- [3] 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) (vista el: 02/08/2013).