

AGRADABILIDAD SONORA DE ESPEJOS RETROVISORES ELÉCTRICOS

PACS: 43.66.Lj

Poveda-Martínez, Pedro¹; Ramis-Soriano, Jaime¹; Pico, Estefanía²; Barrocal, José².

¹Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías
Universidad de Alicante.

Carretera San Vicente del Raspeig s/n
03690 San Vicente del Raspeig, Alicante. España.
Tel. 965 903 400
Fax. 965 903 464

²Compañía Levantina de Reductores, S.L.

Av. Joaquín Vilanova, 30
03440 Ibi, Alicante. España.

Email: pedro.poveda@ua.es; jramis@ua.es

Palabras Clave: vehiculos, retrovisores, ruido, percepción, agrado

ABSTRACT

Consumers increasingly demand high quality products and the noise has become a key factor. The automotive sector has always been aware about noise when designing vehicles. A large number of tools and analysis methods have been developed in order to determine the sound quality of their products. The present work focuses on studying the behavior of electrically adjustable exterior mirrors. From psychoacoustic tests, a quality metric is obtained to describe the subjective perception of costumers regarding the pleasantness.

RESUMEN

Cada vez más los consumidores exigen productos de mayor calidad. El ruido se ha convertido en un factor clave a la hora de establecer una distinción entre grupos de producto. El sector de automoción ha tenido siempre muy presente el ruido a la hora de diseñar los vehículos, desarrollando herramientas y métricas de evaluación para la determinación de la calidad sonora de sus productos. El presente trabajo se centra en estudiar el comportamiento acústico de uno de los componentes móviles del vehículo, el espejo retrovisor eléctrico. A partir de ensayos psicoacústicos se establece una métrica de calidad para describir la percepción subjetiva del usuario en relación al agrado sonoro del producto.

1. INTRODUCCIÓN

En un mercado cada vez más globalizado y accesible, donde el número de productos concebidos para una misma funcionalidad aumenta constantemente, el usuario es capaz de realizar una comparación más exhaustiva entre la oferta existente y por tanto, aumentan sus exigencias en cuanto a calidad de producto se refiere. Esta situación supone un mayor esfuerzo para los fabricantes a la hora de diseñar sus productos.

La calidad de un producto depende de diferentes características. Cada vez más el usuario presta una mayor atención al comportamiento acústico del producto, a partir de la cual es posible

obtener gran información. Por este motivo, el sonido debe tenerse en cuenta desde la fase de diseño de producto y utilizarse como valor añadido a la hora de ponerlo en el mercado. Tal y como describe Fog en [1], a partir de los descriptores objetivos y la percepción subjetiva de los usuarios es posible establecer la calidad sonora del producto y analizar desviaciones respecto al comportamiento deseado.

Existen distintos métodos para llevar a cabo la evaluación subjetiva de un sonido: método de ranking, comparación de parejas, categorización o diferencias semánticas entre otros [2]. Cada método presenta ventajas e inconvenientes. Parizet et al. en [3] lleva a cabo una comparación entre seis métodos distintos de evaluación psicoacústica en términos de precisión y tiempo de ejecución. El autor obtiene resultados similares para la evaluación de la agradabilidad por medio de cinco de ellos. Sin embargo, concluye que el método de comparación de parejas proporciona una dispersión menor en las respuestas y garantiza una separación mejor entre muestras. En contrapartida, supone uno de los métodos más costosos en cuanto a tiempo de ejecución. Asimismo, el autor concluye que el de ranking puede ser una alternativa aceptable con un buen compromiso entre y tiempo de evaluación.

En la actualidad, los ensayos psicoacústicos son utilizados en numerosos sectores de la industria. La automoción es uno de los sectores donde más extendida está el uso de técnicas psicoacústicas, desarrollando métricas [4, 5] y herramientas para la evaluación de la calidad sonora en el interior y exterior del vehículo. Las primeras investigaciones se centraron en establecer la calidad sonora del vehículo en relación al sistema de propulsión. Hastings et al. en [6] analizan el efecto del tiempo de combustión y la presión de combustión en la calidad sonora de un motor diesel. Los autores aprecian una relación entre el análisis objetivo y la percepción subjetiva de los sonidos estudiados. Del mismo modo, Parizet et al. en [7] analizan la falta de confort debida al ruido en el interior de un autobús por métodos psicoacústicos. En el ensayo participan 52 personas y se concluye que eventos como la aceleración o deceleración, la apertura de ventanas, el accionamiento del sistema neumático o el encendido de la ventilación suponen los eventos que mayor molestia provocan en el usuario.

Pero la calidad sonora de un vehículo no solo se debe al ruido generado por el sistema de propulsión. Con el paso de los años, las técnicas psicoacústicas se han extendido a otros componentes. Así sucede con las puertas del vehículo, cuyo sonido de apertura o cierre supone un indicativo de calidad para el usuario, pudiendo llegar a ser decisivo en el proceso de compra del mismo. Así lo demuestran Kuwano [8] y Parizet [9] en sendos ensayos de calidad sonora. Por otro lado, Vollandri et al. en [10] realizan un estudio preliminar de la calidad sonora de ventanillas con accionamiento eléctrico en vehículos. El trabajo destaca la necesidad de realizar ensayos psicoacústicos para establecer una correlación entre parámetros objetivos y la percepción subjetiva del usuario.

En la actualidad, el sector de la automoción se rige por diferentes normativas que regulan el comportamiento de los elementos del vehículo no solo desde el punto de vista mecánico, sino que también acústico. Este es el caso de los espejos retrovisores exteriores del vehículo. En [11] se define el protocolo de medida para establecer el nivel de presión sonora en la apertura y cierre del espejo retrovisor. A su vez, la norma describe cómo debe ser el movimiento del espejo: continuo y agradable. Esta descripción es claramente subjetiva, puesto que el texto no especifica ninguna metodología para calcular dicha agradabilidad. Se hace necesario pues estudiar el ruido producido por los espejos retrovisores eléctricos durante su movimiento y definir una métrica que permita describir objetivamente la calidad sonora de los mismos.

En este trabajo se analiza el ruido generado por cuatro modelos diferentes de espejo retrovisor accionados de forma electromecánica. Para ello, en primer lugar, se realizaron grabaciones binaurales de diferentes muestras sobre las que se aplicaron métricas de calidad sonora. Seguidamente se efectuaron ensayos psicoacústicos para determinar la percepción subjetiva del usuario con relación a la agradabilidad del sonido. Los ensayos se realizaron por medio de dos métodos de análisis: comparación de parejas y ranking. A partir de la correlación de los

resultados objetivos y subjetivos, se estableció una métrica para describir la agradabilidad sonora de los espejos retrovisores.

2. METODOLOGÍA

El presente estudio consiste en un ensayo auditivo para determinar la agradabilidad del sonido producido por el movimiento de espejos retrovisores de vehículos al ser accionados electromecánicamente. Los siguientes apartados describen el proceso seguido durante el ensayo.

2.1. Estímulos Sonoros.

Los retrovisores eléctricos de vehículos están provistos de un accionamiento electromecánico que proporciona la velocidad y par necesarios para su movimiento. Este actuador supone la principal fuente de ruido en el espejo. En este trabajo se analizó el comportamiento de cuatro espejos retrovisores distintos, denotados a lo largo del estudio como M1, M2, M3 y M4. La adquisición de muestras sonoras se llevó a cabo en una cámara semianecoica, con los espejos dispuestos sobre un soporte rígido. La grabación se realizó durante del tiempo de ciclo de apertura de los espejos por medio de un maniquí acústico *Head Acoustics HM III* situado a un metro de distancia de las muestras (ver figura 1). Las grabaciones se realizaron con una frecuencia de muestreo de 44100 Hz y una profundidad de bits de 16 con algoritmo *noise shaping*.



Figura 1. Montaje del equipo de medida en cámara semianecoica.

Un análisis de señal mostró la presencia de ruidos impulsivos al inicio del giro de los espejos (ver figura 2). Este comportamiento resultó menos acentuado para la muestra M3, cuyo comportamiento inicial resulta más suave y progresivo (ver figura 2c). El ruido generado por los espejos está formado por numerosos armónicos dependiendo en cada caso de la velocidad de giro de los componentes que integran la cadena cinemática.

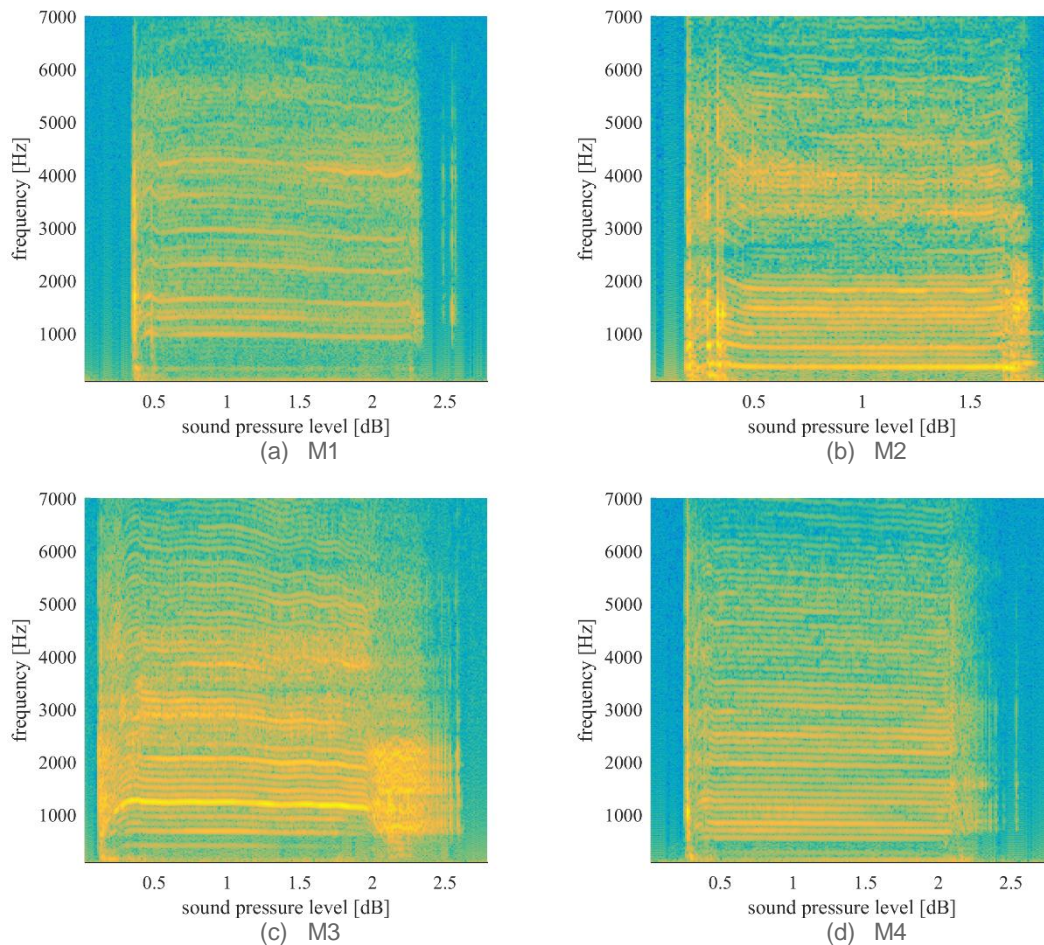


Figura 2. Espectrograma del ruido generado durante el movimiento de retrovisores eléctricos.

La tabla 1 muestra algunas de las características acústicas de las muestras analizadas. El nivel de presión sonora, la sonoridad, la agudeza, la fuerza de fluctuación, la aspereza, la sensación de agrado sonoro y la molestia objetiva, se calcularon para la zona estacionaria del ciclo de cada retrovisor. De acuerdo con los valores obtenidos, las muestras presentan un nivel de presión sonora con variaciones superiores a los 8 dB entre ellas. Un comportamiento parecido se observó para la sonoridad, con la excepción de la muestra M3 y M4. Respecto a la agudeza, la fuerza de fluctuación o la aspereza, las muestras presentan valores con diferencias poco significativas. De acuerdo con el parámetro Sensación de Agrado Sonoro, el usuario prefiere el retrovisor M2, mientras que M1 corresponde a la muestra menos valorada. Estos datos contrastan con los obtenidos mediante el parámetro Molestia Objetiva, según el cual S2 y S1 son las muestras menos molestas.

Tabla 1. Parámetros sonoros obtenidos para la región estacionaria del ciclo.

Muestra	S1	S2	S3	S4
SPL, dB(A)	46,70	43,50	49,00	51,80
Sonoridad, sone	4,02	3,20	6,02	5,38
Agudeza, acum	1,89	1,71	1,60	1,80
Fuerza Fluct., vacil	1,54	1,87	1,69	1,72
Aspereza, asper	2,81	2,29	2,63	2,29
Sensación agrado sonoro, pu	0,02	0,11	0,06	0,07
Molestia objetiva, a	17,12	16,88	24,46	25,35

2.2. Ensayos Psicoacústicos. Procedimiento.

Para determinar la agradabilidad del ruido producido por los espejos retrovisores al moverse, se llevaron a cabo dos tipos de ensayos auditivos: comparación de parejas y procedimiento de ranking.

Al inicio del test se explicó a cada oyente el procedimiento de ensayo, mostrándoles los sonidos a modo de ejemplo para familiarizarse con ellos. Seguidamente, comenzó la evaluación de las muestras sonoras. En el primero de ensayo, comparación por parejas, los estímulos se presentaron al oyente de dos en dos junto con la pregunta “¿Qué sonido le parece más agradable?”. El usuario debía seleccionar entre tres respuestas posibles: A más agradable que B, B más agradable que A, A igual de agradable que B. En el segundo ensayo, de tipo ranking, el oyente tuvo acceso a todos los sonidos al mismo tiempo, debiendo ordenarlos de mayor a menor agradabilidad.

Los ensayos se realizaron en una sala de laboratorio con bajo nivel de ruido. La emisión de los estímulos sonoros se realizó por medio de un ordenador provisto de una tarjeta de audio TASCAM 144 MKII y unos auriculares AKG K612Pro. Los sonidos fueron ecualizados para evitar la influencia de los auriculares en la percepción del oyente.

Un total de 32 voluntarios participaron en los ensayos auditivos. Los resultados de dos de ellos fueron excluidos debido a errores en más del 50% de las comparaciones entre muestras iguales en el ensayo de comparación de parejas. La muestra final resultó de 30 participantes con una edad media de 29.5 años.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1. Método de Comparación de Parejas.

En esta parte del ensayo, los participantes seleccionaron entre tres respuestas distintas para cada pareja según su agradabilidad sonora. Cada respuesta poseía un peso distinto: A más agradable que B, puntuación de 1; B más agradable que A, puntuación de -1; A igual de agradable que B, puntuación de 0. A partir de los valores obtenidos, se confeccionó una matriz de resultados incluyendo en la diagonal la comparación de muestras iguales. A partir de la suma de la fila (valores situados por encima de la diagonal) y la columna (valores situados por debajo de la diagonal, invirtiendo el signo) de cada muestra (excluyendo los valores de la diagonal), se obtuvo la preferencia del usuario respecto a cada retrovisor. Los resultados obtenidos fueron normalizados entre 0-100.

La figura 3a representa la preferencia media de cada una de las muestras (M1: $62,5 \pm 5,8$; M2: $83,1 \pm 10,9$; M3: $18,1 \pm 9,1$; M4: $35,8 \pm 10,3$). Un análisis de varianza (ANOVA) muestra una diferencia significativa entre la preferencia del usuario por los diferentes espejos retrovisores ($F(3,119) = 40,177$; $p < 0,05$). Un análisis HSD de Tukey revela que no existe una diferencia estadísticamente significativa para las muestras M3 y M4. De acuerdo con los resultados obtenidos, el usuario considerará más agradable el sonido producido por la muestra M2 y menos agradable a M3 y M4.

3.2. Procedimiento de Ranking.

Como se indicó en la sección 2.2. en el ensayo auditivo tipo ranking, las muestras se presentaron al usuario de una vez, debiendo este ordenarlas según sus preferencias de más agradable a menos agradable. A cada posición se le otorgó una puntuación en la escala 0-100. Así, a la posición 1, considerada como la más agradable, se le asignó la puntuación de 100; mientras que

a la posición 4 (más desagradable) se le asignó un valor de 0. La figura 3b muestra la preferencia media obtenida para cada una de las muestras (M1: $56,6 \pm 10,9$; M2: $86,6 \pm 9,5$; M3: $30,0 \pm 12,36$; M4: $26,6 \pm 10,0$). Un análisis ANOVA indica que existe una diferencia significativa entre las muestras estudiadas ($F(3,119) = 28$; $p < 0.05$). Un test de Tukey indica que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las muestras M3 y M4, por lo que la preferencia por ambas no podrá separarse. Mediante el ensayo de ranking el usuario considera la muestra M2 como la más agradable y M3/M4 como las menos deseadas.

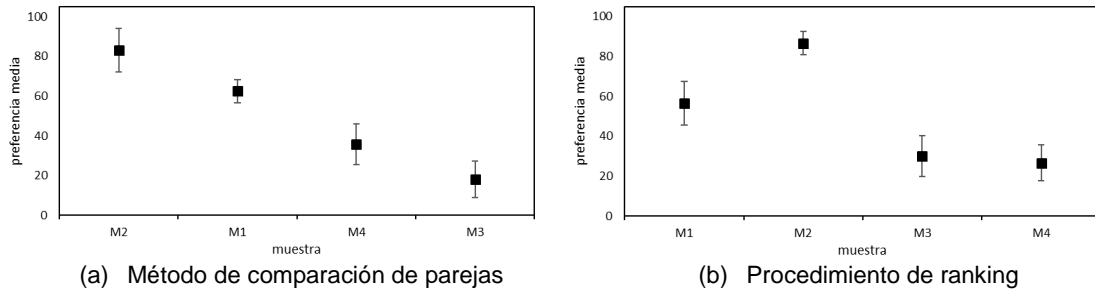


Figura 3. Preferencia media de los usuarios según la agradabilidad de los sonidos de espejos retrovisores.

3.3. Comparación entre métodos de análisis.

Si comparamos los resultados obtenidos mediante los dos métodos de análisis, comparación por parejas y ranking, observamos como la preferencia de los usuarios en ambos casos es muy similar (figura 4). Las diferencias más significativas se dan para las muestras M3 y M4, cuyo orden de preferencia se ve alterado. Sin embargo, en ambos casos no se puede establecer una diferencia estadísticamente significativa entre estos dos espejos retrovisores. Otra diferencia bastante notable se encuentra en los intervalos de confianza para cada una de las muestras. La utilización del método de ranking da como resultado una dispersión mayor en la evaluación de las muestras, con intervalos de confianza sobre la media superiores en la mayoría de los casos.

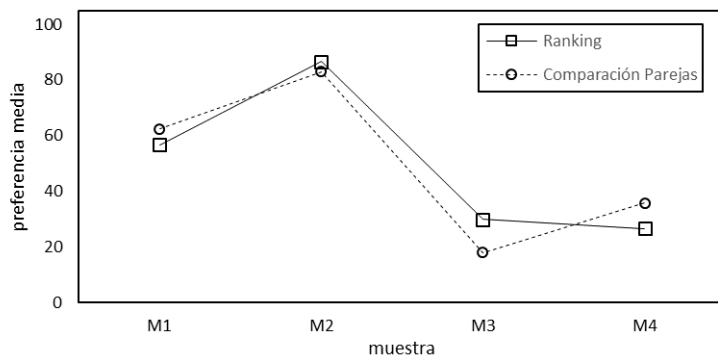


Figura 4. Comparación entre las preferencias del usuario obtenidas por los dos métodos de ensayo.

3.4. Correlación de la percepción subjetiva y los parámetros objetivos.

Con objeto de establecer una métrica capaz de describir de forma objetiva la percepción del usuario en relación a la agradabilidad del ruido producido por los espejos retrovisores, se obtiene el coeficiente de correlación de Pearson entre los parámetros calculados y el resultado de los ensayos psicoacústicos. La tabla 2 muestra los valores obtenidos en cada caso.

Tabla 2. Coeficiente de correlación de Pearson de cada parámetro.

Parámetro	Coef. Correlación Comparación Parejas	Coef. Correlación Ranking
SPL, (dBA)	-82%	-95.9%
Sonoridad	-99.8%	-95.1%
Agudeza	42.1%	12.4%
Fluctuación	31.5%	43.3%
Aspereza	-19%	-15.4%
Molestia Objetiva	-90.6%	-90.7%
Sensación de agrado sonoro	31.9%	43.1%

Como puede apreciarse, algunos de los parámetros obtenidos presentan coeficientes de correlación muy elevados pero de signo negativo. Este resultado muestra que la preferencia del usuario se comporta de forma inversa a la descripción que realizan dichos parámetros. La tabla 3 muestra la correlación obtenida para los parámetros modificados.

Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson de la inversa de algunos parámetros.

Parámetro	Coef. Correlación Comparación Parejas	Coef. Correlación Ranking
SPL ⁻¹ , (dBA)	84.6%	97.1%
Sonoridad ⁻¹	98.7%	98.4%
Aspereza ⁻¹	22.0%	17.2%
Molestia Objetiva ⁻¹	91.6%	91.2%

De acuerdo con los resultados obtenidos, la percepción de agrado sonoro del ruido generado por espejos retrovisores quedará descrita de manera más precisa por medio del parámetro loudness, con un coeficiente de correlación superior 98%.

4. CONCLUSIONES

Como se ha comprobado a lo largo de este trabajo, la utilización de métodos psicoacústicos puede suponer una herramienta muy útil a la hora diseñar el producto y adecuar sus prestaciones sonoras a las preferencias del usuario final.

Asimismo, se concluye que los métodos analíticos empleados en este estudio, comparación por parejas y procedimiento de ranking, proporcionan resultados muy similares. El método de ranking presenta como ventaja una reducción considerable del tiempo de ensayo, lo cual lo hace muy atractivo para la comparación de grupos de muestras de pequeño tamaño (menor de 6 elementos).

Con relación a la agradabilidad del sonido producido por el movimiento de espejos retrovisores, cabe concluir que tanto el nivel de presión sonora como el parámetro sonoridad proporcionan valores del coeficiente de correlación de Pearson muy elevados, lo que permitirá describir de manera muy precisa la percepción subjetiva del usuario.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la empresa Compañía Levantina de Reductores (CLR) su participación en el proyecto, contribuyendo a la realización del mismo y apoyando los ensayos realizados.

6. REFERENCIAS

[1] C. L. Fog. Product Sound as an Important Part of Product Design

[2] Head Acoustics. Application Note. Conducting Listening Tests.

- [3] Etienne Parizet, Nacer Hamzaoui, Guillaume Sabatie. Comparison of some listening test methods: a case study. Acta Acustica united with Acustica, Hirzel Verlag, 2005, 91, pp.356-364.
- [4] Zwicket E., Fastl H. Psychoacoustics: Facts and Models. 1990.
- [5] W. Aures. A Procedure for Calculating Auditory Roughness. Acustica 58, 268-281. 1985.
- [6] A. Hastings, P. Davies and H. Takata. Effects of Modulation on the Quality of Diesel Engine Noise. ICA2001.
- [7] Etienne Parizet, Nacer Hamzaoui, Lionel Segaud, Jean-Ren´e Koch. Continuous evaluation of noise uncomfort in a bus. Acta Acustica united with Acustica, Hirzel Verlag, 2003, 89, pp. 900-907.
- [8] Sonoko Kuwano, Hugo Fastl, Seiichiro Namba, Seishi Nakamura and Hiroshi Uchida. "Quality of door sounds of Passenger cars". Acoust. Sci. & Tech, 27, 5. 2006.
- [9] Etienne Parizet, Erald Guyader, Valery Nosulenko. Analysis of car door closing sound quality. Applied Acoustics, Elsevier, 2008, 69, pp.12-22.
- [10] G. Vollandri, F. Di Puccio, P. Forte, C. Carmignani, F. Becattini. A psychoacoustic approach for sound quality assessment of automotive power Windows.
- [11] Volkswagen, TL82398 Electrically Adjustable Exterior Mirrors. Ed. 02-2016.