ACÚSTICA 98

SOBRE NUEVOS ATRIBUTOS DE CALIDAD PERCEPTIVA DE SEÑALES ACUSTICAS

López Barrio, I.; Carles, J.L.; Simón, F. y Moreno, A

Instituto de Acústica (CSIC)
c / Serrano, 144. 2806 Madrid
Tel. 915618806 / Fax 914117651
E-mail iaclb41@fresno.csic.es

SUMMARY

This work summarises the main results of finding new psychoacoustic attributes related to subjective reaction measured by a semantic differential scale method with regard to "pleasant-unpleasant". Up to 31 sounds mainly related to vehicles noise in urban areas were presented to 12 people by headphones in a treated room. Analysis involved four psychophysic attributes; two related to time changes ("evolution and bent") another related to the sound level, and a last one related to their spectral properties: the sharpness.

The main influence of loudness as a negative factor is confirmed. Evolution and bent also show a non-negligible influence on subjective evaluation

INTRODUCCION

Durante años el concepto de confort sonoro ha estado íntimamente vinculado a la variable física intensidad "cuanto menos intenso mejor". A partir de la década de los ochenta surge el concepto de "calidad sonora" el cual no se relaciona exclusivamente con la intensidad, teniendo en cuenta para su valoración otras características acústicas relevantes, tales como la estructura temporal y el espectro en frecuencias así como la forma en que el suceso sonoro es percibido e interpretado por el oyente. Es decir, la calidad sonora , tal como afirman Blauert y Jekosch (1996), resulta de la combinación de gran variedad de factores (físicos, psicoacústicos y psicológicos) los cuales se consideran como complementarios, en el sentido de que tanto unos como otros son necesarios para estudiar y comprender la respuesta de los sujetos en relación al sonido.

Conscientes de estos presupuestos, diferentes investigadores han analizado la incidencia de diferentes atributos psicofísicos en la determinación de la calidad acústica de diferentes tipos de señales acústicas. Así, Terhard y Stoll (1981), en un estudio experimental en el que se valoraron 17 sonidos, muestran como las sensaciones

auditivas (parámetros psicofísicos) de aspereza y estridencia incidían de manera negativa en la valoración de agrado (eufonía), mientras que la tonalidad constituía un rasgo positivo. Bisping (1996) en relación al sonido interior de los coches comprobó que la calidad sonora medida en términos de agrado se hallaba asociada con la sensación subjetiva de "potencia" (medida mediante cinco escalas bipolares: poderoso-débil; excitante aburrido; dinámico-no dinámico: rápido-lento; animado-inanimado). Este parámetro psicofísico, relacionado con el incremento de energía en las frecuencias bajas, reduce de manera significativa la sensación de agrado. Asimismo, Otto y Wakefield (1993) y Malen y Scott, (1993) han tratado de analizar la calidad sonora de diferentes componentes específicos de los automóviles (motores, cierres de puertas, tubos de escape, etc.) así como de otros productos industriales (tales como, aparatos de jardinería, lavadoras, cafeteras, máquinas de afeitar, etc.), poniendo en relación los parámetros objetivos (intensidad, espectro y evolución temporal,) y la valoración subjetiva. El objetivo fundamental de estos estudios es la optimización del diseño acústico y el confort sonoro adaptándolo a los gustos y preferencias de los usuarios dado que la calidad acústica es una dimensión importante en la determinación de la satisfacción global del usuario en relación a un producto.

En esta línea de investigación el objetivo del estudio que se presenta es comprobar las diferencias en la valoración de agrado existente entre distintos sonidos y la incidencia que en dicha valoración tienen determinados parámetros psicoacústicos.

METODOLOGIA

El procedimiento metodológico empleado en este trabajo implicó la puesta apunto de una estación de trabajo que permitió transferir a un PC, mediante una vía interface audio Digidesing 442 I/O, los diferentes sonidos, que se pretendía evaluar. La muestra de sonidos fueron transformados, mediante el programa MULTI2TDT, en ficheros "TDT" legibles por el PC que presenta las escalas de medida psicoacústica. Esta estación de trabajo permitió crear un programa interactivo de manera que la muestra de sujetos participantes en el estudio gestionaron la presentación y evaluación de las diferentes señales de manera individual.

Muestra

La muestra estaba formada por once sujetos (hombres y mujeres) con una media de edad de 42 años. Cada sujeto valoró de forma individual los 32 sonidos.

Estímulos sonoros

Se seleccionaron 32 señales de naturaleza diferente. La mayor parte de ellas (52%) corresponden a ruidos de vehículos (arranques, ralentí y paso de coches y motos de diferentes características) (ver tabla 1). Los sonidos fueron grabados binauralmente mediante un sistema digital de grabación acústica (cabeza artificial) y a una distancia de unos 4 metros de la fuente sonora y grabados en un magnetófono DAT. Dichas grabaciones fueron realizadas por LMA de Marsella.

Instrumento para la valoración subjetiva

La valoración subjetiva se realizo siguiendo la técnica del diferencial semántico, utilizando una escala de siete puntos en la que los extremos representan atributos verbales opuestos. Concretamente se seleccionaron cuatro descriptores semánticos para la medida de los atributos psicoacústicos del sonido analizados en este estudio (agudeza, sonoridad y evolución temporal). Dichos descriptores recogen un conjunto de expresiones semánticas utilizadas en otros estudios en la descripción de la cualidad afectiva del sonido. Concretamente las escalas empleadas fueron: *Débil / fuerte* (en la medida de la sonoridad, intensidad subjetiva); *Grave / Agudo* (agudeza del sonido) y *Recto / Sinuoso*, *Estable / Inestable* (evolución temporal). La calidad sonora se valoró, de manera similar en una escala de 7 puntos, en términos de agrado, siendo *Desagradable/ Agradable* los extremos de la escala (desagradable = 1 y agradable =7).

Procedimiento

Los sonidos fueron presentados en una cámara audiométrica y escuchados mediante auriculares. El orden de presentación de los estímulos se realizó de forma aleatoria con el fin de evitar posibles efectos en las respuestas debidos al orden de presentación. Asimismo, se mantuvo constante el nivel de intensidad en la presentación de los estímulos a fin de controlar la incidencia de esta variable en la valoración del agrado/desagrado. Previo a su valoración los sujetos podían escuchar cada uno de los sonidos cuantas veces lo desearan (el tiempo medio de presentación de los estímulos fue de unos 15"). Tras la escucha los sujetos valoraron de forma individual los

diferentes sonidos en cada una de las cinco escalas semánticas que fueron presentadas en el ordenador, señalando por medio del cursor el punto de la escala elegido para la valoración del sonido escuchado. La realización del experimento tuvo una duración media de 20 minutos.

Análisis

Los análisis físicos de los distintos sonidos se realizaron en el entorno Matlab, calculando los siguientes parámetros:: evolución temporal del nivel de presión sonora, función de autocorrelación de la envolvente (periodos de baja frecuencia), espectro en bandas de frecuencia (tanto de anchura lineal constante como por 1/3 de octava) y baricentro espectral (ambos análisis se realizaron tomando toda la señal). Además se calculó la STFT de todas las señales que resultó muy útil especialmete para la descripción de los sonidos no estacionarios, en los que el nivel no es repersentativo por su variabilidad

Los resultados obtenidos en las escalas de diferencial semántico se analizaron mediante el paquete de análisis del BMDP. Se realizó un análisis de varianza (test de rangos múltiples de Duncan) y se calculó los coeficientes de correlación de Spearman entre el agrado y los atributos perceptivos.

RESULTADOS

Los resultados de los análisis permiten comprobar que existe una escasa dispersión en la valoración del agrado en relación a los sonidos analizados, situándose dichas valoraciones entre las categorías de indiferente y muy desagradables (valores 1 al 4). La puntuación media de agrado fué de $\bar{x}$=2,77 con una desviación típica de 1,19. A pesar de la homogeneidad de los resultados, el análisis de Duncan permitió realizar una división de los sonidos, de acuerdo a la media de su valoración, en tres categorías. Al primer grupo pertenecen los sonidos menos desagradables con una puntuación media en la escala de agrado igual o superior a 4. Estos sonidos corresponden a los señalados en la tabla 1 con el nº 31, 32 y 10. Todos estos ruidos presentan características aleatorias con un cierto dominio de energía en altas y en bajas frecuencias. Este tipo de espectros da lugar a una tonalidad media (se trata de sonidos que no son valorados ni muy graves ni agudos) y a una sonoridad débil, ya que el rango que más influye en la sonoridad es el medio (1-3KHz).

En el segundo grupo figuran los sonidos que han obtenido una puntuación media en la escala de agrado entre 2,5 y 4 (entre desagradables e indiferente).

En la tercera categoría, la de los sonidos especialmente desagradables, se incluyen los sonidos con valores medios de agrado inferiores a 2,5 (sonidos nº 9, 11, 12, 13, 15, 18, 19, 24, 28, 29, 30). Desde el punto de vista físico este grupo se podría caracterizar por un predominio de tonos puros, preferiblemente agudos, aunque su frecuencia puede variar con el tiempo de una forma gradual (lineal o parabólica). Algunos de estos sonidos tienen un fondo de ruido blanco (ruido 11); en otros el nivel sonoro varía con el tiempo e incluso con la frecuencia (ruidos 12, 13, 15 19). En general los sonidos de este grupo poseen una sonoridad fuerte y una tonalidad extrema, ya sea por aguda (como el 29) o por grave (p. ej. el 9). Este último se caracteriza por ser un ruido periódico impulsivo y de muy alto nivel.

Las correlaciones de Spearman, entre el agrado y las sensaciones auditivas analizadas, muestran que el agrado se halla estrechamente relacionado con la sonoridad con un coeficiente de correlación de -0, 659, es decir el incremento de la sonoridad produce una disminución en la sensación de agrado. Las correlaciones obtenidas con el resto de los parámetros psicoacústicos analizados (agudeza y evolución) son igualmente de carácter negativo pero sensiblemente más bajas. Así, la correlación de agrado con agudeza fue de r_s =-0,138, y con evolución fue: r_s = -0.290 para la escala torcido/sinuoso y r_s= - 0,0178 para la escala estable/inestable. Estas bajas correlaciones pueden explicarse atendiendo a la homogeneidad de los sonidos analizados y la escasa dispersión en la valoración en la escala de agrado.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo han permitido extraer algunas conclusiones. En primer lugar se considera que la metodología aquí planteada, basada en la utilización del diferencial semántico para la medición de las sensaciones auditivas, puede ser útil para profundizar en el conocimiento de la calidad acústica de productos de diseño industrial. Se ha comprobado que la sonoridad constituye una variable que resulta significativa para determinar los juicios de los sujetos acerca de la calidad sonora. En este sentido, dado que la sonoridad ha resultado el atributo que presenta una mayor correlación con la valoración de agrado, puede resultar de interés desarrollar nuevos experimentos en los que las diferentes señales sonoras utilizadas se

presenten con la misma sonoridad con el fin de controlar la influencia de este factor y de este modo comprobar la incidencia en el agrado de otras posibles variables psicoacústicas. Nuestro interés en este estudio se ha centrado en una variedad limitada de estímulos sonoros (fundamentalmente ruidos) lo que plantea la necesidad de ampliar los resultados a otro tipo de sonidos de nuestro entorno que cubran una gama de agrado más amplia.

Tabla 1. Valoración media y desviación típica obtenida en la escala de agrado para los diferentes estímulos sonoros analizados (**sonidos más agradables; ▯ sonidos más desagradables)

Sonidos	$\bar{x}$	σ	Sonidos	$\bar{x}$	σ
1. Ventilación de MacIntosh	3,26	1,39	17. Paso rápido de una moto	3,10	1,32
2. Ruido de fondo, laboratorio	3,01	1,13	18. Paso de ciclomotor ▯	2,22	0,70
3. Funcionamiento de syquest	2,68	1,17	19. Aceleración fuerte de 2c en reposo ▯	2,02	0,96
4. Refrigerador	3,43	1,20	20. Aceleración débil de 2c en reposo	2,43	1,27
5. Dos caballos al ralentí	3,10	1,26	21. Paso de un 2c.	3,10	1,14
6. Chirrido de rótula de dirección 2c	3,10	0,47	22. Chirrido de rótula de dirección de 2c	3,10	0,77
7. Seat al ralentí	3,62	0,98	23. Aceleración de Seat en reposo	2,50	1,09
8. Moto al ralentí	3,04	1,16	24. Aceleración débil, moto en reposo ▯	2,40	1,15
9. Martillo neumático de derribo ▯	2,11	0,51	25. Acel. triple, fuerte, moto en reposo.	2,49	1,22
10. Circulación en una tubería **	4,00	0,96	26. Paso de una moto	2,73	1,27
11. Desinflado de un globo ▯	1,40	0,53	27. Syquest (prueba 2)	3,17	1,02
12. Circulación densa de automóviles ▯	2,40	0,53	28. Chirrido de tiza en un encerado ▯	2,15	0,85
13. Circulación tenue de automóviles ▯	2,27	0,81	29. Chirrido de tiza (prueba 2) ▯	1,70	0,69
14. Chirrido de frenada de autobús	2,56	1,04	30. Desinflado de globo (prueba 2) ▯	2,05	0,79
15. Paso de autobús ▯	2,34	0,78	31. Arrugado de una bolsa de plástico **	4,62	1,47
16. Arranque en un semáforo	2,53	0,73	32. Rasgado de una bolsa de papel **	4,25	0,91

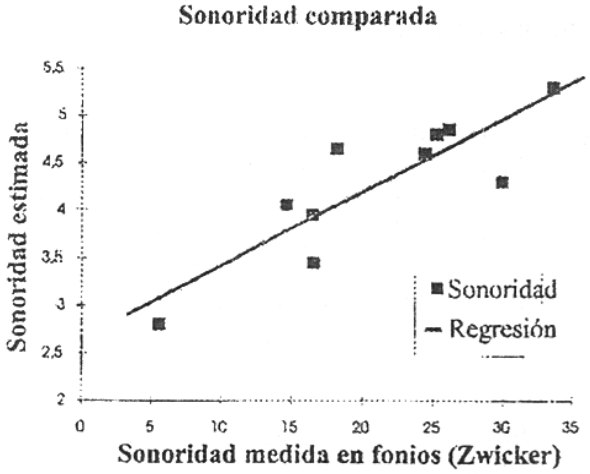

Fig 1. Comparación entre la sonoridad medida en fonios y la sensación de sonoridad.

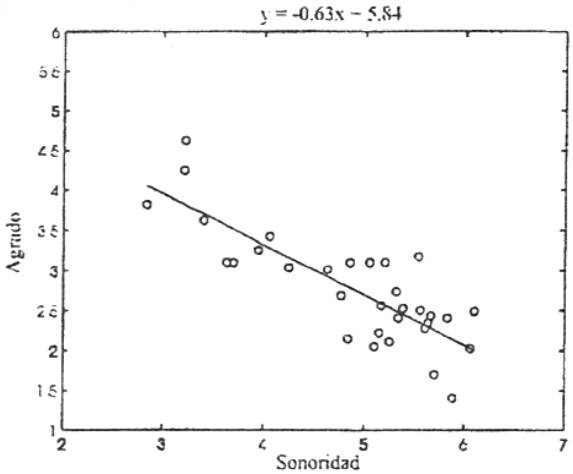

Fig 2. Regresión de la sensación de sonoridad sobre el agrado.

BIBLIOGRAFIA

Blauert, J y Jekosh, U. (1996) Sound-quality evaluation - A multilayered problem. EAA Tutorium. Amwerp

Bisping R. (1996) Aurally - adequate sound - quality evaluation EAA Tutorium. Amwerp

Terhard, E. y Stoll, G (1981) Skalierung des Wohlkslangs (der sensorischen Konsonanz) von 17 Umweltschallen und Untersuchung der beteiligten Hörparameter, *Acustica 48, 247-253*