

PARÁMETROS PSICOACÚSTICOS Y CALIDAD SONORA

PACS: 43.66.Lj

Miralles, José Luis¹; Garrigues, José Vicente²; Gíménez, Alicia³; Romero, José³; Navasquillo, Joaquín²; Cerdá, Salvador³

1. Universitat de València Blasco Ibáñez, 21 Valencia España +34963864849 +34963864823 mirallem@uv.es	2. Universitat de València Doctor Moliner s/n Burjassot España +34963864500 +34963864546 garrigue@uv.es	3. Universitat Politècnica de València Camino de Vera s/n Valencia 46022 España +34963877000-85240 +34963879529 agimenez@fis.upv.es
---	---	--

ABSTRACT

The quality of sound is related to the absence of physiological lesions and to an accurate perception of the sound. In some way it can be considered as the inverse of annoyance, and annoyance depends on physical and psychological variables.

In this work the relation between the psychoacoustical parameters of *loudness*, *roughness*, *sharpness* and *tonality* and sound quality is investigated. 60 natural sounds, each one of 10 seconds of duration, were presented to a sample of 160 subjects in order to evaluate their perceived *pleasantness*.

RESUMEN

La calidad acústica está relacionada con la ausencia de daños fisiológicos y con la percepción adecuada del sonido correspondiente. De alguna manera puede considerarse como inversa a la molestia y ésta depende tanto de variables físicas como psicológicas.

En este trabajo se investiga la relación entre los parámetros psicoacústicos de *intensidad*, *aspereza*, *agudeza* y *tonalidad* y la calidad de una muestra de 60 sonidos naturales de 10 segundos de duración, medida en términos de su *agradabilidad* percibida en una muestra de 160 sujetos.

INTRODUCCIÓN

La calidad acústica hace referencia a una propiedad psicofisiológica en función de la que un sonido además de no provocar adecuada o agradable de la fuente sonora. De alguna manera puede considerarse la calidad como la inversa de la molestia.

La normativa para controlar los efectos negativos del ruido se centra en la intensidad física del sonido y propone el *nivel equivalente* (L_{eq}) como medida más eficaz de ruido. El nivel de ruido tiene efectos básicamente sobre las funciones fisiológicas, de manera más directa sobre el propio funcionamiento del sistema auditivo, que de forma inmediata se manifiestan en una pérdida de audición que varía en cantidad y duración (Salvi, Henderson, Hamernik, Colletti 1986).

El ruido afecta también a otras dimensiones fisiológicas, como el sueño, etc. (Kryter 1985; García, A. 1990). Estas variaciones, además de depender de la cantidad de ruido, objetivamente evaluada, están relacionadas con la molestia producida y ésta es una experiencia subjetiva. En este sentido el nivel equivalente debiera ser sustituido por otro índice que recogiese no sólo la cantidad objetiva de ruido sino otros factores o dimensiones del mismo causantes de molestia. Los ruidos molestos causan más fatiga, pérdida de atención, distraibilidad, irritabilidad etc. La peligrosidad, en consecuencia de un ruido no depende sólo de factores objetivos de nivel sino que está relacionada además con los aspectos cualitativos del ruido. Así pues, el nivel equivalente es un parámetro excesivamente simple para medir los efectos nocivos del ruido que sería justificable únicamente en la prevención del daño coclear. Siendo en definitiva el sujeto humano el receptor del sonido la peligrosidad habría que evaluarla en términos de molestia, concepto multidimensional que implica tanto disfunciones fisiológicas como psicológicas.

Desde una perspectiva física la molestia depende de factores como el nivel, la frecuencia, duración o periodicidad. Psicológicamente está relacionada con la interferencia con la atención, el momento del día o la activación emocional producida.

Guski, Felscher-Suhr y Schuemer (1999) revisan el concepto de molestia en países y culturas diferentes encontrando está estrechamente relacionado y puede usarse como sinónimo de desagradabilidad, incomodidad y perturbación determinados parámetros para determinación .

Los estudios sobre molestia o agradabilidad del sonido son relativamente recientes y han sido desarrollados básicamente por Zwicker. Independiente de variables culturales y personales, la molestia o agradabilidad de un sonido debe estar relacionada con ciertos elementos del espectro. A partir de los trabajos de Zwicker (Zwicker y Fastl 1999) se identifican una serie de indicadores de calidad del sonido referidos como *sharpness (agudeza)*, *roughness (aspereza)*, *fluctuation strength (fuerza de la fluctuación)* y *tonalidad (tonality)* de los que se supone que depende la calidad de un sonido. De acuerdo con Zwicker la calidad del sonido, entendida como *agradabilidad (pleasantness)* puede ser cuantificada de acuerdo con

$$\frac{P}{P_0} = e^{-0.7R/R_0} e^{-1.08S/S_0} (1.24 - e^{-2.43T/T_0}) e^{-(0.023N/N_0)^2}$$

donde P es *agradabilidad*, R es *aspereza*, S *agudeza*, T *tonalidad* y N *intensidad percibida*. En este trabajo se propone relacionar la calidad con la composición espectral o determinados parámetros cuantitativos que pueden definir las características cualitativas del sonido.

METODOLOGÍA

Sujetos

Como sujetos experimentales han participado 160 alumnos, hombres y mujeres, de la Universitat de València, entre 20 y 35 años, con audición normal. La participación fue recompensada con créditos académicos.

Material

Se grabaron 60 sonidos naturales con un DAT TASCAM a 44.1k Hz de frecuencia de muestreo. Los sonidos fueron analizados con el software Sound Quality de Brüel & Kjaer para determinar los parámetros psicoacústicos *intensidad (loudness)*, *agudeza (sharpness)*, *aspereza (roughness)* y *tonalidad (tone to noise ratio y prominent ratio)*

Los sonidos fueron igualados en nivel equivalente. Al igualarlos en nivel equivalente los parámetros relativos a la intensidad diferían poco entre sí (specific loudness media = 11 son; desviación típica = 2,5), en cualquier caso lejos de los 20 sonos que pueden ser

considerados como molestos. Los demás parámetros psicoacústicos, independientes en mayor o menor medida de la intensidad, variaban de valores mínimos a elevados.

Los sonidos grabados corresponden a objetos y fuentes sonoras naturales de la experiencia cotidiana (motores, electrodomésticos, transportes, ruido blanco y rosa, instrumentos musicales).

Procedimiento

El experimento se ha realizado en una cabina anecoica, y los estímulos han sido presentados al azar con auriculares TDH45. Cada sonido duraba 10 segundos con un ataque y caída de 250 mseg. Al principio del experimento, en una fase de entrenamiento, el sujeto oía cinco sonidos, dos de los cuales habían sido clasificados por jueces como extremadamente desagradables, otros dos como agradables y uno neutro en referencia a los extremos. A continuación se presentaba la serie de 60 sonidos que debía evaluar. Entre cada dos sonidos había 5 seg. para que el sujeto diese la respuesta de agradabilidad, marcándola con un punto o señal en una línea de 15 cm.

Resultados

Dado que los estímulos habían sido seleccionados entre sonidos naturales y por lo tanto los parámetros psicoacústicos no habían sido fijados previamente, se ha realizado un análisis factorial para comprobar si los sonidos formaban agrupaciones basadas en estos parámetros, de manera que todos ellos estuviesen bien representados en la muestra seleccionada. Los cinco parámetros estudiados, *intensidad, aspereza, agudeza, tonalidad y fuerza de la fluctuación*, ciertamente no están relacionados entre sí ortogonalmente. No obstante aparecen cinco factores, cada uno de los cuales puede ser caracterizado por uno de dichos parámetros.

Antes de realizar cálculos con las respuestas de los sujetos, y dada la subjetividad de los criterios de agradabilidad, las respuestas se han normalizado de acuerdo con la fórmula

$$Z = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

donde Z es el valor normalizado y X el valor de las respuestas.

A partir de los datos normalizados se ha realizado un análisis factorial de componentes principales y calculado los estadísticos descriptivos con el programa SPSS.

El análisis factorial pone de manifiesto la alta variabilidad de las respuestas subjetivas. Aparecen pocas agrupaciones de respuestas o factores con suficiente peso para explicar satisfactoriamente los juicios de agradabilidad de los sujetos. Básicamente aparecen cinco factores (Tabla 1) con cierto peso, capaces de ser interpretados, pero sólo explican el 40% de la varianza. En el análisis de este tipo de respuestas subjetivas, cuya variabilidad es esperada ya antes del experimento, es deseable que aparezcan pocos factores para que sean interpretables y lleguen a explicar al menos el 50% de la varianza.

Se presentan los cinco factores de la matriz rotada obtenidos con aquellos sonidos con carga superior a 0,35 en un factor. El número del ítem es sólo una tarjeta identificativa del sonido.

factor	items
1	17, 21, 27, 31, 33, 39, 41, 43, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56
2	2, 11, 13, 16, 20, 25, 40, 46, 59
3	1, 4, 5, 8, 9, 29, 32, 38, 44
4	6, 10, 15, 17, 18, 19, 26, 32, 34, 35, 54
5	3, 12, 22, 23, 28, 30, 38, 39, 42, 57, 58, 60

Tabla 1. Ítems con saturación alta en los factores.

El primer factor puede ser caracterizado como un factor de “ruido”. En el se agrupan estímulos cuya característica común es su carácter aperiódico e incluye aquellos sonidos con valores negativos más altos en las medidas de *tonalidad* y *razón de prominencia* del Sound Quality. Este es un factor que se interpreta mejor por referencia al segundo.

El segundo factor, que podría denominarse como “*factor tonal*”, agrupa los sonidos que se caracterizan por elevados valores en *tonalidad* y *razón de prominencia* en el análisis realizado con el Sound Quality. En este factor se agrupan, además de otros sonidos, todos los correspondientes a instrumentos musicales. Estos dos factores explican un 25,6 % de la varianza acumulada; el 15,6% el primero y el 10,0% el segundo.

El tercero es un factor poco definido que podría ser caracterizado, en todo caso, por la presencia de sonidos con modulación en bajas frecuencias (*fluctuation strength*).

El cuarto factor puede caracterizarse como un factor de “*agudeza más ruido*”. Los ítems de este factor se caracterizan por tener valores elevados en agudeza y negativos en la medida de la tonalidad.

El quinto factor está formado por sonidos que se repiten con una determinada ciclicidad o periodicidad e incluye básicamente a sonidos que proceden de motores e instrumentos con un cierto valor tonal no elevado y modulación en amplitud (avión, tren, sirena, timbre).

Más información que el análisis factorial la proporcionan los datos descriptivos de las respuestas de los sujetos (Tabla 2)

rango	media	desv.típica	asimetría	curtosis
12,21	5,72	1,99	1,11	3,60

Tabla 2. Estadísticos descriptivos

La media de toda la distribución es 5,72 sobre una media teórica de 7,5, con una desviación típica de 1,99. La distribución aparece sesgada a la izquierda con un coeficiente de asimetría de 1,11, coeficiente que vale cero en una curva simétrica. Sólo 8 sonidos se encuentran por encima de la media; entre ellos tres instrumentos musicales, trombón, violín y violoncelo, y sonidos que presentan un fuerte carácter rítmico o melódico (trenes, sintonía telefónica)

El histograma de frecuencias (figura 1) muestra claramente el sesgo de la distribución de las puntuaciones hacia valores bajos.

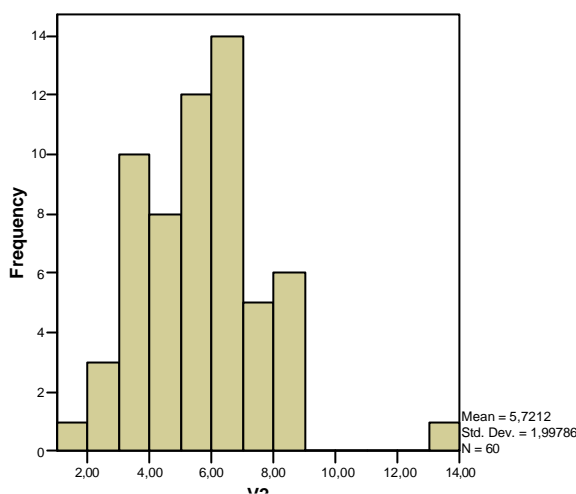


Figura 1. Histograma de frecuencias

La distribución de los cuartiles (Tabla 3) es altamente significativa y evidencia con claridad la baja puntuación obtenida en general por los sonidos de esta muestra y el sesgo a la izquierda de la distribución.

Q ₁	Q ₂ (Mdn)	Q ₃
4,20	5,62	6,75

Tabla 3. Valores de cuartiles

Todos los sonidos del primer cuartil, es decir, el 25% de puntuaciones más bajas, se caracterizan por ser los que tienen más componentes en frecuencias agudas, confirmando la relación negativa entre agudeza y agradabilidad encontrada ya por otros autores.

El tercer cuartil, por debajo del cual se encuentra el 75% de valores de la distribución, todavía se encuentra claramente por debajo de la media teórica. Sólo a partir del percentil 90, cuyo valor es 8,25 encontramos valores superiores a la media teórica. Es decir sólo un 10% de sonidos obtienen una valoración superior a 1,5. El cuarto cuartil, con el 25% de puntuaciones más altas, engloba sonidos musicales y los procedentes de motores.

CONCLUSIONES

Los resultados, tanto del análisis factorial como descriptivos convergen en las mismas conclusiones:

1. la agradabilidad acústica, en la medida en que es una emoción, es altamente subjetiva y variable. Al final del experimento se preguntaba a los alumnos si habían seguido algún criterio para evaluar los sonidos como agradables o molestos. Con frecuencia respondían que habían asociado el sonido a experiencias, emociones o recuerdos previos (por ej. un sonido evocaba una cascada en un paraje solitario, otro el sillón del dentista, etc.)
2. los sonidos presentados en esta muestra han obtenido, en general, puntuaciones bajas en agradabilidad, incluso los musicales. Ello puede ser debido a la duración y a la ausencia de contexto.

3. El carácter tonal de un sonido se manifiesta como la característica acústica asociada con más fuerza a la agradabilidad
4. Los sonidos con valores bajos en tonalidad y elevados en componentes agudos (*sharpness*) se encuentran entre los más desagradables, confirmando resultados obtenidos con tonos puros. No se obtienen efectos de la intensidad y la aspereza sobre la agradabilidad. En el caso de la intensidad probablemente porque apenas presentaba variabilidad dentro de la muestra de sonidos ya que todos ellos habían sido igualado en L_{eq} . La aspereza, que ciertamente está relacionada con la consonancia y disonancia musical, es el factor que de acuerdo con Zwicker tiene menos peso para sonidos de diferente ancho de banda fuera de la armonía musical.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- García, A. M^a. (1990). *Efectos del ruido ambiental sobre la salud en medios urbanos y laborales*. Tesis doctoral, Valencia.
- Guski, R.; Felscher-Suhr, U. and Schuemer, R. (1999). The concept of noise annoyance: how international experts see it. *Journal of Sound and Vibration* 223, (4), 513-527.
- Kryter, K. D. (1985). *The effects of noise on man*. Academic Press, London.
- Salvi, R.J.; Henderson, D.; Hamernik, R.P. and Colletti, V. (1986). *Basic and applied aspects of noise-induced hearing loss*. Plenum Press, New York.
- Zwicker, E. and Fastl, H. (1999). *Psychoacoustics. Facts and models*. Springer-Verlag, Berlin.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia en el marco de:

- Proyecto de Investigación I+D con referencia SEJ2004-06529/PSIC.
- Proyecto de Investigación Coordinado de referencia BIA2003-09306-C04.