

NUEVOS ESTUDIOS DE VALIDACION SUBJETIVA DE LOS INDICES DE CALIDAD SONORA

REFERENCIA PACS: 43.66.-x

Canévet, G; Meunier, S; Marchioni, A; Regal, X. (*)

Carles, J. L; López Barrio, I. (**)

* Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, CNRS

13402 Marsella Cedex 20, Francia

** Instituto de Acústica, CSIC

Madrid, España

SUMMARY

Existing algorithms and programs for calculating loudness, sharpness and roughness were used on a bank of environmental sounds and synthesized sounds. The same attributes, as well as a general impression of pleasantness, were also measured on these sounds in an auditory experiment run on two groups of untrained subjects. The results confirm that loudness is the first parameter that influences pleasantness of the environmental sounds. The programs used seem to predict quite correctly loudness and sharpness; for roughness, the conclusion is less clear.

INTRODUCCION

Las señales acústicas poseen numerosos atributos perceptivos que son responsables de la calidad sonora del ambiente. Entre estos atributos, se han identificado claramente la sonoridad (Zwicker y Fastl, 1990; Moore y Glasberg, 1996), la agudeza (v. Bismarck, 1974) y la rugosidad o aspereza (Terhardt, 1968). A estos atributos se les denomina «criterios» o «índices» de calidad sonora. Aunque la validez de estos criterios o índices ha quedado demostrada por los autores citados, hay pocos estudios publicados sobre sonidos concretos del entorno acústico en los que se apliquen estos criterios, en particular la aspereza. Partiendo de todo ello se ha realizado un estudio experimental que incluye tanto medidas subjetivas como cálculos basados en la definición de estos tres índices. Se han incluido igualmente medidas del agrado global. El objetivo ha sido evaluar la fiabilidad de los índices clásicos de la calidad sonora y de los modelos propuestos para su cuantificación. El estudio se ha basado en algunos ruidos sintéticos y, especialmente, en sonidos concretos del medio, registrados tanto en el laboratorio como en el exterior. Este trabajo se ha llevado a cabo paralelamente en el Instituto de Acústica y en el Laboratorio de Mecánica y de Acústica de Marsella (proyecto Picasso, acciones integradas CSIC/CNRS).

SEÑALES ESTUDIADAS



Las señales fueron seleccionadas de manera que se consiguiera una adecuada diversidad de características acústicas y auditivas (Tabla I). La mayoría son ruidos del entorno urbano, pero también hay otros ruidos que constituyen interesantes ejemplos desde un punto de vista perceptivo (como el chirrido de una tiza, sonidos número 28 y 29, o el rasgado de una hoja de papel, sonido número 32). Para estudiar la aspereza, usamos parte de estas 32 señales (señales de la Tabla II), pero además se sintetizaron otras señales, para las cuales existen unos valores de aspereza ya publicados (Daniel y Weber, 1997).

1) ventilación de MacIntosh	13) circulación fluída de automóviles	23) aceleración de seat , en reposo
2) ruido de fondo de laboratorio	14) chirrido de una frenada de autobús	24) aceleración débil de moto, en reposo
3) funcionamiento de syquest	15) paso de un autobús	25) aceleración triple, fuerte, de moto, en reposo
4) refrigerador	16) arranque en un semáforo	26) paso de una moto
5) dos caballos (2c) al ralentí	17) paso rápido de una moto	27) syquest (prueba 2)
6) chirrido de una rótula de dirección de 2c	18) paso de una mobilete	28) chirrido de tiza en un encerado
7) seat al ralentí	19) aceleración fuerte de un 2c en reposo	29) chirrido de tiza (prueba 2)
8) moto al ralentí	20) aceleración débil de un 2c, en reposo	30) desinflado de globo (prueba 2)
9) martillo neumático de derribo	21) paso de un 2c	31) Arrugado de una
10) circulación en una	22) chirrido de una rótula	

Tabla I. Lista de las señales usadas para estudiar el agrado, la sonoridad y la agudeza.

1) ventilación de MacIntosh	33) SP 1kHz, 70dB, AM, fmod=70 Hz, m=0.5
4) refrigerador	34) SP 1kHz, 70dB, AM, fmod=70 Hz, m=0.7
5) dos caballos (2c) al ralentí	35) SP 1kHz, 70dB, AM, fmod=70 Hz, m=1
8) moto al ralentí	36) SP 1.6kHz, 40dB, FM, fmod=70 Hz, df=±800Hz
9) martillo neumático de derribo	37) SP 1.6kHz, 60dB, FM, fmod=70 Hz, df=±800Hz
10) circulación en una tubería	38) SP 1.6kHz, 80dB, FM, fmod=70 Hz, df=±800Hz
11) desinflado de un globo	39) RB, 70dB
28) chirrido de tiza en un encerado	
29) chirrido de tiza (prueba 2)	
31) arrugado de una bolsa de	

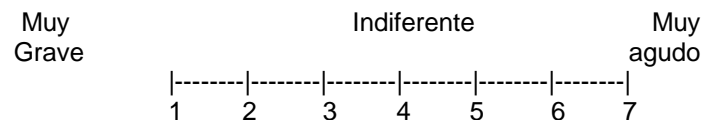
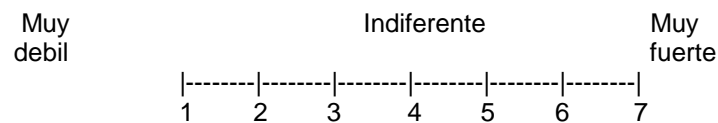
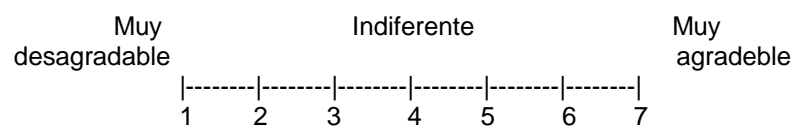
Tabla II. Lista de las señales usadas para las medidas subjetivas de aspereza

SP :Tono puro; RB : Ruido blanco; BdR : Banda de ruido fc : frecuencia central; f : anchura espectral de la banda de ruido AM : modulación de amplitud; FM : modulación de frecuencia. fmod : frecuencia de modulación; m : grado de modulación df : límite de las variaciones de frecuencia.

METODOS UTILIZADOS PARA LAS MEDIDAS SUBJETIVAS



Para medir los atributos subjetivos de las señales, el método utilizado consiste en establecer unas escalas numéricas en las que cada oyente debe situar el valor atribuido a la señal escuchada. Cada sonido pasa a ser un punto de esta escala. Así se procede con cada señal para cada categoría objeto de valoración, que, como hemos indicado, en nuestro caso fueron el agrado, la sonoridad y la agudeza. El desarrollo del experimento fue controlado por ordenador. Después de escuchar cada sonido, el sujeto pudo contemplar en la pantalla de su terminal las tres escalas siguientes:



Después de cada presentación, cada sujeto debía valorar el sonido es decir, escribir, de acuerdo a la escala presentada, la cifra entre 1 y 7 que, según su opinión, mejor reflejaba lo que sentía o pensaba sobre ese sonido, pudiendo utilizarse valoraciones intermedias (por ejemplo 2.3, 4.6, etc.). Cada sonido pudo ser escuchado varias veces, siendo posible además usar la tecla de borrado para corregir una valoración. Para confirmar la valoración escogida, se presionaba la tecla ENTER.

En el caso de la aspereza, se usó también una escala de siete puntos con un adjetivo bipolar que va de suave a áspero. En este caso, en vez de dar un valor, por ejemplo entre 1 y 7 como arriba, el sujeto tenía que situar el cursor (moviéndolo con las teclas de derecha e izquierda) en la posición de la escala considerada como la más adecuada. En la pantalla aparecía el siguiente esquema:

suave |-----|-----X-----|-----|-----|-----|-----| áspero
cursor

Además, se usó el método de estimación de la cuantía (magnitude estimation) de Stevens (1975) con una referencia previa. Tras la escucha de cada sonido, el sujeto tenía que valorar su aspereza asignándole un valor positivo cualquiera (entero, decimal, fraccionario ...)



proporcional a la aspereza experimentada. El sonido inicial era el sonido de referencia (sonido puro a 1 kHz, 70 dB, modulado a 100%), al cual se asignaba el valor 100. Los siguientes sonidos fueron juzgados a partir de este valor de referencia. Si el siguiente sonido le parecía al sujeto el doble de áspero, debía darle el valor 200; si le resultaba la mitad de áspero, el valor 50, si le resultaba vez y medio más áspero le daría el valor 150, etc. Se aplicó el mismo principio a los sonidos siguientes. Para una mejor comprensión de lo que es la aspereza, cada sujeto escuchó unos ejemplos antes de empezar las medidas. Estos ejemplos fueron cinco sonidos de aspereza diferente (sonidos puros, de 1 kHz, 70 dB modulados a 70 Hz con grados de modulación $m=0$, $m=0,2$, $m=0,5$, $m=0,7$ y $m=1$). El primero de estos sonidos no es en absoluto áspero, aumentando después la aspereza con cada nuevo sonido.

SUJETOS

En el primer experimento, dedicado a la medida del agrado, de la sonoridad y de la agudeza, tomaron parte once personas en Madrid (cuatro mujeres, siete hombres, con una edad media de 38 años) y diez personas en Marsella (cuatro mujeres y seis hombres, edad media 27 años). El SEGUNDO experimento, sobre la aspereza, fue realizado solamente en Madrid, con catorce personas (cinco mujeres, nueve hombres, edad media 32 años).

RESULTADOS

Los resultados de las medidas de agrado, sonoridad y agudeza pueden observarse en los gráficos de la figura 1.

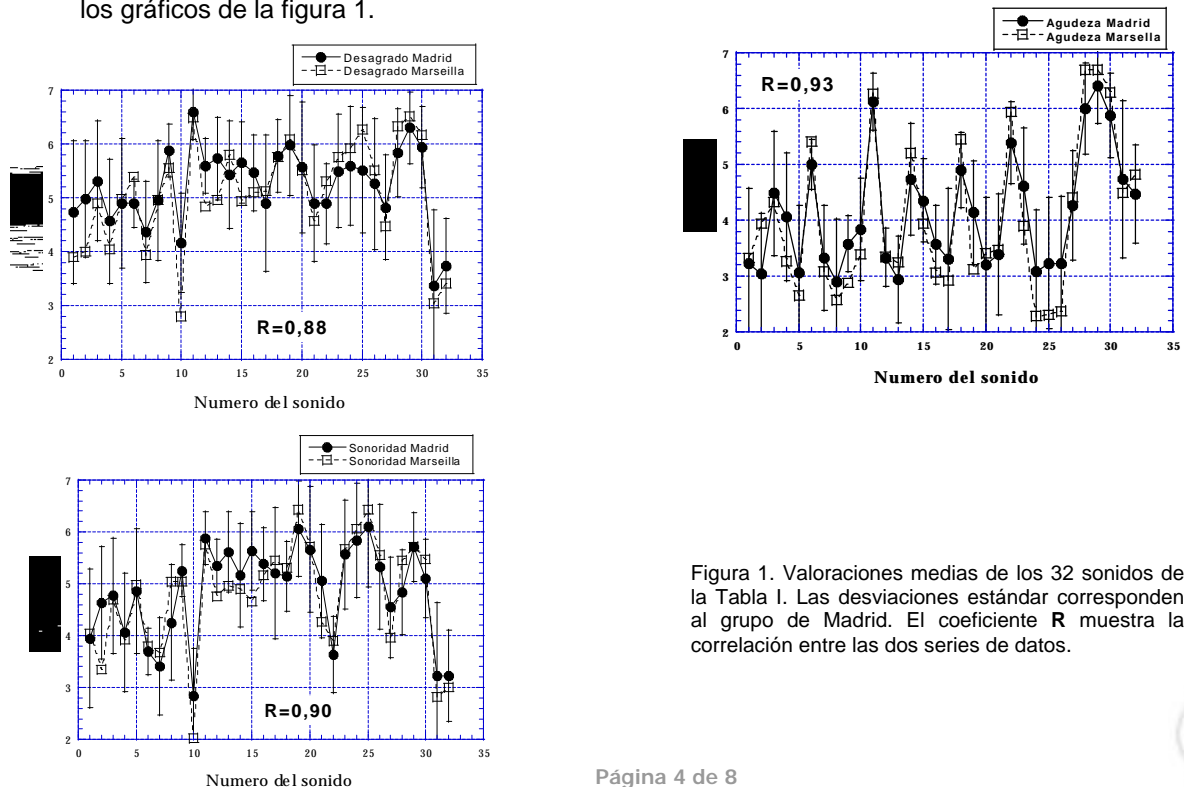


Figura 1. Valoraciones medias de los 32 sonidos de la Tabla I. Las desviaciones estándar corresponden al grupo de Madrid. El coeficiente R muestra la correlación entre las dos series de datos.



Los círculos negros de la figura 1 corresponden a los datos de Madrid, los cuadrados blancos a los de Marsella. Para una mejor observación de la correlación del agrado con los otros atributos, hemos preferido presentar la escala de "desagrado". Las barras verticales corresponden a las desviaciones estándar de los resultados de Madrid. Las desviaciones obtenidas en los resultados de Marsella son similares. Según el atributo considerado, se comprueba que los juicios medios varían según los sonidos. Así, en lo que se refiere al desagrado (primer gráfico de la figura 1), puede decirse que todos los sonidos resultan bastante desagradables (valoraciones entre 4 y 6) excepto en 3 sonidos que se distinguen un poco (sonidos 10, 31 y 32, con valoraciones en torno a 3). Resultados similares se obtienen con la sonoridad, comprobándose que el perfil de las valoraciones de desagrado y sonoridad son muy parecidas. En cambio, los resultados de agudeza muestran diferencias claras entre dos grupos de sonidos. La mayoría de los sonidos son poco agudos (valoraciones cerca de 3). Pero hay también un grupo de sonidos agudos (valoraciones de 5 o más), que incluye por ejemplo los números 11, 22, 28 hasta 30.

Estos resultados son similares en las dos series de datos, Madrid y Marsella. Se ha calculado la correlación entre las dos líneas de valores en cada gráfico de la figura 1. Los coeficientes **R** correspondientes aparecen dentro de los cuadros, mostrando valores muy altos, entre 0,88 y 0,93. Esta concordancia en los juicios permite establecer la hipótesis de que las valoraciones de los sujetos traducen bien las características subjetivas intrínsecas de los sonidos utilizados: los juicios medios son los mismos en los dos grupos de sujetos, a pesar de las diferencias existentes en cuanto a condiciones experimentales, lengua y ausencia de preparación de los sujetos.

VALIDEZ DE LOS ALGORITMOS DE CALCULO

La sonoridad y la agudeza pueden calcularse usando el algoritmo de Zwicker (ver Paulus y Zwicker, 1972; Fastl, 1984; Zwicker y Fastl, 1990). La comparación entre las valoraciones subjetivas y los cálculos permiten evaluar la validez de dicho algoritmo. Los resultados quedan recogidos en la figura 2, en la que cada punto representa un sonido y la línea recta la regresión entre las dos series de valores (teóricas y experimentales); el coeficiente correspondiente, para los datos de Madrid, queda recogido en la parte inferior derecha del cuadro. La correlación entre valores calculados y experimentales es bastante alta, sobre todo para la agudeza. En cuanto a la sonoridad, la correlación entre valores estimados y calculados podría haber sido un poco más alta, pero el hecho de usar categorías ha podido limitar las valoraciones, especialmente las de alto nivel. Así, con una escala libre podrían haberse obtenido resultados superiores a 7 para los sonidos de 60 a 80 sonios (parte derecha del gráfico de sonoridad). De cualquier modo, una correlación del 84% (y de casi 80% para los datos de Marsella) entre valores calculados y estimados puede considerarse como un resultado muy aceptable.

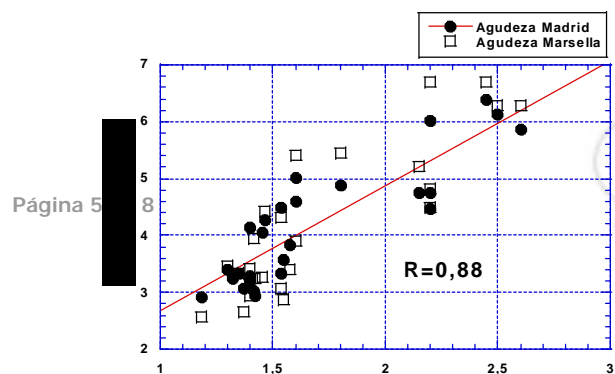
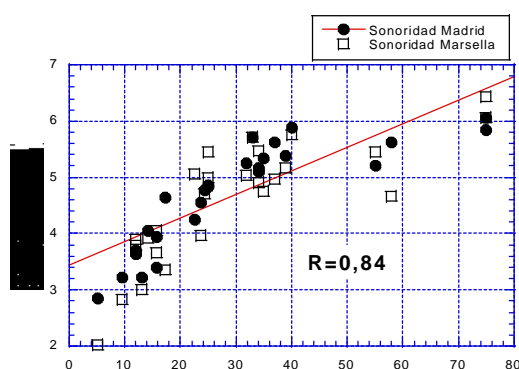


Figura 2. Comparación de las valoraciones subjetivas de sonoridad y agudeza y de los cálculos correspondientes (de acuerdo al algoritmo de Zwicker).

RELACION ENTRE AGRADO, SONORIDAD Y AGUDEZA

Para evaluar el efecto de la sonoridad o de la agudeza sobre el desagrado, hemos elaborado los gráficos de la figura 3. El gráfico de la izquierda muestra la relación entre desagrado y sonoridad; el de derecha entre desagrado y agudeza. La correlación entre desagrado y sonoridad es aproximadamente de 0,85. Este valor confirma el papel importante jugado por la sonoridad en los juicios del entorno acústico (Aures, 1985b, c). Entre agudeza y desagrado, la correlación resulta inferior (0,29). Sin embargo, nuestros resultados apuntan en el mismo sentido que los de Aures (y de Terhardt y Stoll, 1981): la agudeza contribuye al desagrado auditivo, aunque pueda parecer un efecto de segundo orden comparado con la sonoridad.

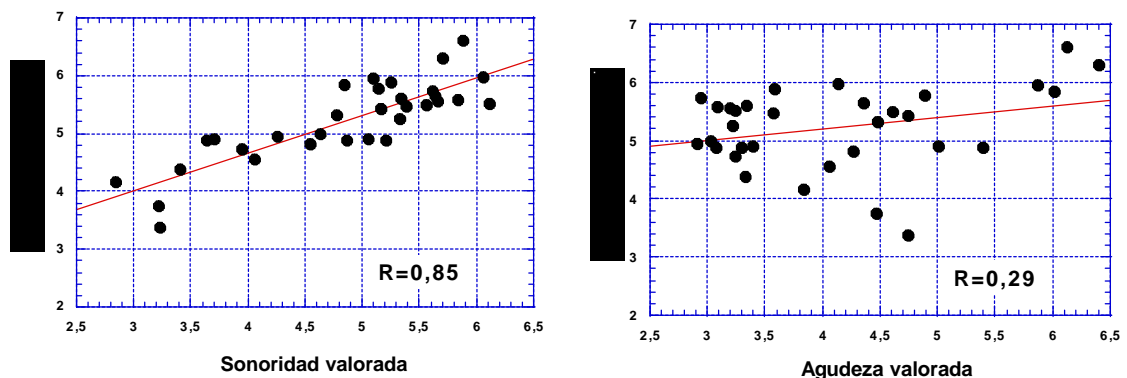


Figura 3. Correlación entre el agrado y los dos criterios subjetivos de sonoridad y agudeza. Datos de Madrid.

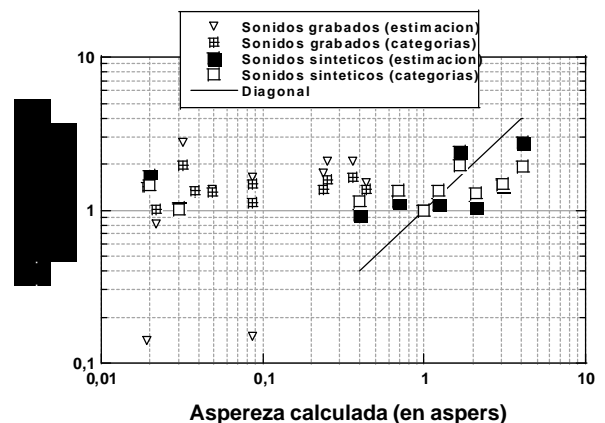
ESTUDIO DE LA ASPEREZA

Para calcular la aspereza de los sonidos de la Tabla II, hemos usado el algoritmo de Daniel y Weber (1997), el cual a su vez está basado en trabajos anteriores de Terhardt (1968) y Aures (1985a). Este algoritmo se conoce solamente por la publicación de Daniel y Weber (1997), y escribir un programa informático de cálculo de la aspereza a partir de esta publicación



implica algunos riesgos de error. Sin embargo, los resultados de nuestro programa y los valores publicados por Daniel y Weber, sobre los 10 sonidos sintéticos usados en este estudio, correlacionan al 96%. Puede afirmarse de este modo que nuestro programa constituye un desarrollo correcto de dicho algoritmo, por lo que puede ser utilizado para evaluar la aspereza teórica de los demás sonidos (los sonidos grabados) de la Tabla II.

La figura 4 presenta en primer lugar los resultados globales del experimento (gráfico de la izquierda). Puede comprobarse la similitud entre las valoraciones obtenidas por escalas y las obtenidas por estimaciones directas. La correlación entre los dos es de 0,83. En consecuencia, parece darse una gran coherencia en las respuestas de los sujetos. Por el contrario, la comparación entre medidas subjetivas y los cálculos (gráfico de la derecha en la figura 4) resulta bastante decepcionante. Para casi todos los sonidos, cuyas asperezas teóricas se sitúan entre 0,02 y 4 aproximadamente, las estimaciones quedan en una zona reducida de 1 a 3. No puede afirmarse por tanto que el programa usado permita predecir la aspereza de los sonidos del entorno acústico. En el caso de los sonidos sintéticos, la situación es algo mejor. En la parte derecha del gráfico de la figura 4, se muestra como los puntos (cuadrados blancos y negros) se aproximan un poco más a la línea recta correspondiente a la diagonal (igualdad exacta entre cálculo y estimación).



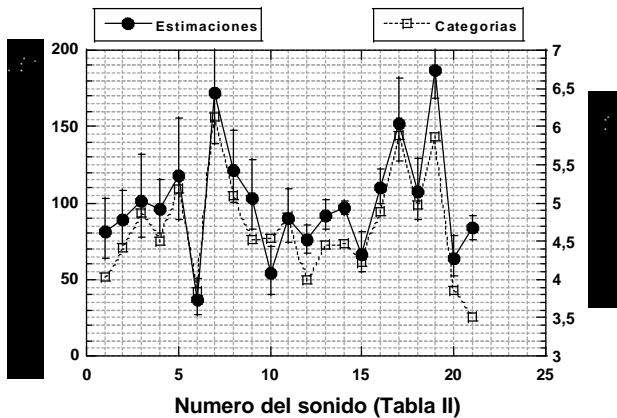


Figura 4. Valoraciones de aspereza de los sonidos de la Tabla II (gráfico de la izquierda), y comparación con la aspereza calculada (gráfico de la derecha).

La divergencia entre asperezas calculadas y medidas puede tener varias explicaciones. Por un lado, puede pensarse en la existencia de un malentendido, en el momento de presentar las instrucciones del experimento, entre el encargado del mismo y los sujetos, acerca de la significación exacta del concepto de aspereza y en consecuencia acerca del atributo sonoro (o sensación) a juzgar. Otra posible explicación sería que la sensación de aspereza "pase inadvertida" para los sujetos, encubierta por otros atributos más importantes. Dicho de otro modo, el sujeto no lograría concentrarse en este aspecto particular del sonido al no poder abstraerse de otros atributos como el timbre, la sonoridad u otros. Aunque la aspereza calculada de los sonidos naturales sea muy baja en nuestro caso (0,5 o menos) no debería ocurrir lo mismo con los sonidos sintéticos, que fueron concebidos para ser claramente rugosos. Por todo ello en el futuro debería realizarse un nuevo experimento con un mayor número de sujetos y una muestra de sonidos más amplia.

BIBLIOGRAFIA

- Aures von W. "Ein Berechnungsverfahren der Rauigkeit", ACUSTICA, 1985a, 58, 268-281.
- Aures W. "Der sensorische Wohlklang als Funktion psychoakustischer Empfindungsgrößen", Acustica, 1985b, 58, 282-290.
- Aures W. "Berechnungsverfahren für den sensorischen Wohlklang beliebiger Schallsignale", Acustica, 1985c, 59, 130-141.
- Daniel P., Weber R. "Psychoacoustical roughness: implementation of an optimized model", ACUSTICA - acta acustica, 1997, 83, 113-123.
- Fastl H. "BASIC-Program for calculating the loudness of sounds from their 1/3-oct band spectra according to ISO 532 B", ACUSTICA, 1984, 55, 63-67.
- Moore B. C. J., Glasberg B. R. "A revision of Zwicker's loudness model", ACUSTICA - acta acustica, 1996, 82, 335-345.
- Paulus v. E., Zwicker E. "Programme zur automatischen Bestimmung der Lautheit aus Terzpegeln oder Frequenzgruppenpegeln", ACUSTICA, 1972, 27, 253-266.
- Stevens S. S. Psychophysics. J. Wiley, 1975.
- Terhardt von E. "Über akustische Rauigkeit und Schwankungsstärke", ACUSTICA, 1968, 20, 215-224.
- Terhardt von E., Stoll G. "Skalierung des Wohlklangs (der sensorischen Konsonanz) von 17 Umweltschallen und Untersuchung der beteiligten Hörparameter", ACUSTICA, 1981, 48, 247-253.
- v. Bismarck G. "Sharpness as an Attribute of the Timbre of Steady Sounds", Acustica, 1974, 30, 159-172.
- Zwicker E. et Fastl H. "Psychoacoustics, Facts and Models", Springer-Verlag Eds, 1990.

