



VALORACIÓN DE LA CALIDAD SONORA DEL RUIDO EXTERIOR DE TRENES DE ALTA VELOCIDAD UTILIZANDO DESCRIPTORES PSICOACUSTICOS

PACS: 43.50.Lj

José Romero, Salvador Cerdá, Alicia Giménez, Albert Marín, Antonio Sanchis
Departamento de Física Aplicada
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera 14, Edificio D5 Bajo. PO BOX 22012
46080 Valencia.
Tel: 34 963 877 007 Ext: 85241.
E-Mail: romerof@fis.upv.es, cerdaj@uv.es.

ABSTRACT

The objective of this work is to describe the sound quality of different trains of the Spanish national net. We have carried out measures of the external noise: physical (SpL dBA, SpL dB, SpL dBC), and psychoacoustics: Loudness, Roughness, Sharpness and Tonality. We present the relationship among the parameters that allow to describe physically and psychoacoustically the perception of the noise, with the purpose of better describing the sound quality of the trains. Using psychoacoustics parameters we obtain the sound quality in analytical terms of annoyance and unpleasantness.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar la calidad sonora del ruido de rodadura de distintos trenes de alta velocidad de la red nacional Española. Para ello hemos realizado medidas del ruido: físicas (SpL dBA, SpL dB, SpL dBC), y psicoacústicas: Loudness, Roughness, Sharpness y Tonalidad. Presentamos las correlaciones entre los parámetros físicos y psicoacústicos que permiten describir de calidad sonora de los trenes. Utilizando parámetros psicoacústicos establecemos la calidad sonora en términos analíticos de molestia y desagradado.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción de las medidas.

Se ha realizado una campaña de medidas en la línea de alta velocidad que une Madrid con Sevilla (PK 108). Las condiciones eran idóneas para registrar los niveles sonoros. Se registró en cinco posiciones diferentes, disponiendo de ocho sonómetros y cuatro grabadoras digitales DAT. En cada DAT se registraron simultáneamente dos posiciones (alejadas 25 metros entre si). Las posiciones en las que se registraron los niveles sonoros generados por el paso de los trenes incluyen distancias comprendidas entre 37 metros hasta 142 metros. Además se realizaron registros en soporte videográfico con el fin de obtener la velocidad y la longitud del tren. Los

rangos han sido: AVE velocidad 278-307 Km/h. longitud 200 metros. TALGO velocidad 180-204 km/h longitud 135 m.

1.2. Descripción de los parámetros psicoacústicos

Los parámetros psicoacústicos son magnitudes sensoriales que se toman como características del sonido de la audición humana. Constituyen un suplemento útil a la medida física objetiva y a la evaluación subjetiva del sonido. Los descriptores considerados son:

- **Loudness.** “Intensidad Sonora, Fuerza, volumen”, en sonios. ISO 532B (ISO 1966). Es la magnitud más básica, describe generalmente mejor el nivel de sonido percibido que el nivel de presión sonora. El nivel de intensidad sonora en dBA se utiliza como pauta en todas los reglamentos. Sin embargo la intensidad psicoacústica de este parámetro o Loudness es una medida más conveniente para evaluar la opinión real de la intensidad, ella se adapta mejor a la audición humana (e.g. considerando el enmascaramiento).
- **Roughness.** “Aspereza, rugosidad” en asper. Zwicker, 1982, Aures,1984, Schiffbänker 1991. En un ruido de banda ancha una modulación con dos tonos cuya diferencia se mantenga entre 13 hertzios y 300 hertzios, la sensación de la magnitud de la fluctuación da la impresión de la aspereza. La impresión de la aspereza maximiza en una frecuencia de modulación de cerca de 70 hertzios. Un carácter áspero de un sonido causa generalmente una impresión desagradable de la audición. Si la diferencia de la frecuencia de los dos tonos se excede 300 hertzios se consigue gradualmente la impresión de dos tonos distintos.
- **Tonality.** Tonalidad. La tonalidad de un ruido significa que un sonido contiene uno o más componentes prominentes tonales. Los sonidos tonales intensifican generalmente la impresión desagradable de un sonido. Por esta razón en pautas y regulaciones estos sonidos conllevan una penalización de 3 hasta 6 dBA. En los ruidos de trenes usualmente no aparecen tonalidades.
- **Sharpness.** “Nitidez, agudeza”, en acum .von Bismarck 1974. Sharpness representa un atributo para la evaluación del timbre. Se define en función de la sensación de placer o de desagrado de un sonido referido a toda la envolvente del espectro. Se determina por medio del centroide de la distribución espacial en el espectro de Zwicker, 1982. Cuanto mayor es la parte de de alta frecuencia dentro de un ruido mayor es la impresión de la agudeza del sonido. La agudeza es el parámetro psicoacústico más importante debido a su influencia considerable en el desagrado “unpleasantness” de sonidos.

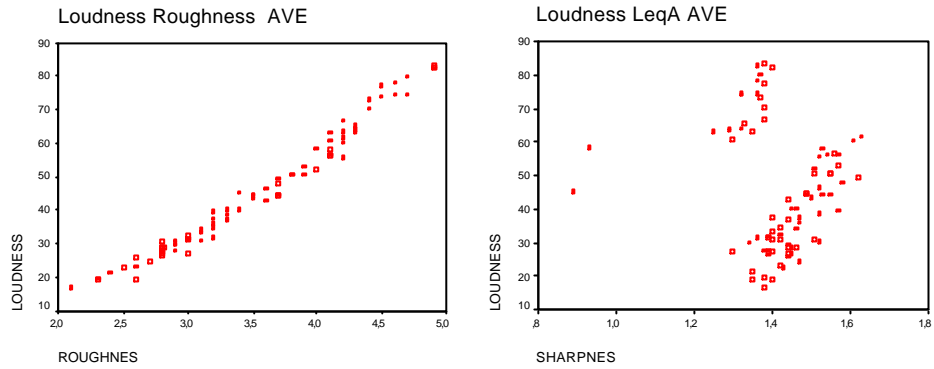
2. RESULTADOS

AVE

Estadísticas

		dB	dBA	dBC	Loudness	Sharpness	Tonality	Roughness
N	Valid	84	84	84	84	84	84	84
	Missing	0	0	0	0	0	0	0
Mean		80,87452	78,66393	80,40821	45,21619	1,42321	,00000	3,51798
Std. Deviation		8,62393	5,16462	8,19267	18,07463	,11686	,00000	,71109
Range		30,430	21,100	29,390	66,180	,740	,000	2,800
Maximum		96,240	86,970	95,050	83,150	1,630	,000	4,900

Algunos diagramas de dispersión



Correlaciones

		dB	dBA	dBC	Sharpness	Loudness	Roughness
dB	Pearson Correlation	1,000	,870	1,000	-,335	,959	,936
	Sig. (2-tailed)	,	,000	,000	,002	,000	,000
dBA	Pearson Correlation	,870	1,000	,882	,114	,930	,954
	Sig. (2-tailed)	,000	,	,000	,304	,000	,000
dBC	Pearson Correlation	1,000	,882	1,000	-,318	,962	,942
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,	,003	,000	,000
Sharpness	Pearson Correlation	-,335	,114	-,318	1,000	-,110	-,042
	Sig. (2-tailed)	,002	,304	,003	,	,317	,707
Loudness	Pearson Correlation	,959	,930	,962	-,110	1,000	,985
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,317	,	,000
Roughness	Pearson Correlation	,936	,954	,942	-,042	,985	1,000
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,707	,000	,
	N	84	84	84	84	84	84

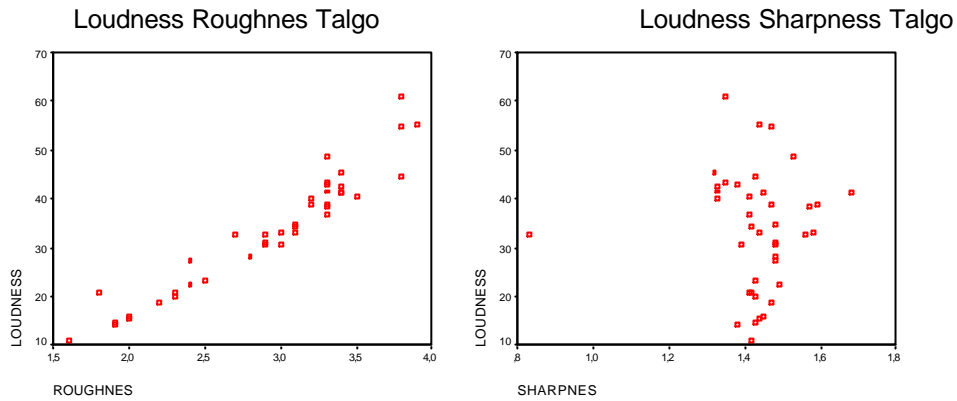
TALGO-2000

Estadísticas

		dB	DBA	dBC	Loudness	Sharpness	Roughness
N	Valid	40	40	40	40	40	40
	Missing	0	0	0	0	0	0
Mean		76,56800	74,95950	76,03125	33,62875	1,43075	2,91750
Std.		8,17658	6,41480	7,76553	12,13605	,12425	,61306

Deviation							
Range		32,050	29,320	31,150	50,000	,850	2,300
Minimum		57,690	57,470	57,470	11,120	,830	1,600
Maximum		89,740	86,790	88,620	61,120	1,680	3,900

Algunos diagramas de dispersión



Correlaciones

		dB	dBA	dBC	Loudness	Sharpness	Rouhness	Tonalit y
dB	Pearson Correlatio n	1,000	,854	,998	,933	-,269	,868	,184
	Sig. (2- tailed)	,	,000	,000	,000	,094	,000	,255
dBA	Pearson Correlatio n	,854	1,000	,881	,910	,153	,893	,316
	Sig. (2- tailed)	,000	,	,000	,000	,347	,000	,047
dBC	Pearson Correlatio n	,998	,881	1,000	,939	-,242	,879	,201
	Sig. (2- tailed)	,000	,000	,	,000	,132	,000	,213
Loudness	Pearson Correlatio n	,933	,910	,939	1,000	-,025	,956	,165
	Sig. (2- tailed)	,000	,000	,000	,	,877	,000	,308
Sharpness	Pearson Correlatio n	-,269	,153	-,242	-,025	1,000	,047	,032
	Sig. (2- tailed)	,094	,347	,132	,877	,	,775	,845
Rouhgness	Pearson Correlatio n	,868	,893	,879	,956	,047	1,000	-,051
	Sig. (2- tailed)	,000	,000	,000	,000	,775	,	,755
Tonality	Pearson Correlatio n	,184	,316	,201	,165	,032	-,051	1,000

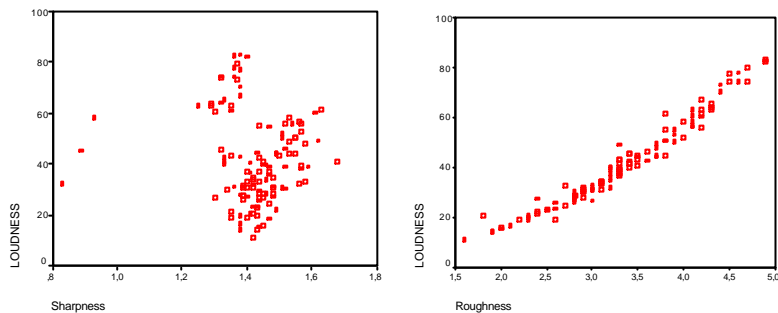
	Sig. (2-tailed)	,255	,047	,213	,308	,845	,755	,
	N	40	40	40	40	40	40	40

TRENES AVE + TALGO 2000

Estadísticas conjuntas.

		SPL DB	SPL DBA	SPL DBC	Loudness	Sharpness	Roughness	Tonality
N	Valid	124	124	124	124	124	124	124
	Missing	0	0	0	0	0	0	0
Mean		79,4853	77,4690	78,9963	41,4783	1,4256	3,3243	3,226E-03
Std. Deviation		8,6874	5,8369	8,2845	17,2259	,1188	,7347	1,774E-02
Range		38,55	29,50	37,58	72,03	,85	3,30	,10
Minimum		57,69	57,47	57,47	11,12	,83	1,60	,00
Maximum		96,24	86,97	95,05	83,15	1,68	4,90	,10

Algunos diagramas de dispersión.



Correlaciones conjuntas

		SPL DB	SPL DBA	SPL DBC	Loudness	Sharpness	Roughness
SPL DB	Pearson Correlation	1,000	,865	,999	,944	-,311	,912
	Sig. (2-tailed)	,	,000	,000	,000	,000	,000
SPL DBA	Pearson Correlation	,865	1,000	,882	,900	,113	,925
	Sig. (2-tailed)	,000	,	,000	,000	,210	,000
SPL DBC	Pearson Correlation	,999	,882	1,000	,949	-,291	,922
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,	,000	,001	,000
Loudness	Pearson Correlation	,944	,900	,949	1,000	-,092	,975
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,	,308	,000
Sharpness	Pearson Correlation	-,311	,113	-,291	-,092	1,000	-,025
	Sig. (2-tailed)	,000	,210	,001	,308	,	,781
Roughness	Pearson Correlation	,912	,925	,922	,975	-,025	1,000
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,781	,
	N	124	124	124	124	124	124

2.1. Molestia subjetiva

Modelo de "Pleasantness". Agradable-desagradable de Zwicker

$$P_{AVE} \ll P_{TALGO\ 2000}.$$

EL TALGO ES MÁS AGRADABLE. EL AVE ES MÁS DESAGRADABLE.

Modelo de PSYCHOACOUSTIC ANOYANCE de Zwicker (Psicoacoustic Annoyance):

$$PA_{AVE}=190; PA_{TALGO\ 2000}=184.9.$$

EL AVE ES MÁS MOLESTO

Modelo del motor diesel de Md. Shafiqzaman Khan.

$$Y_{AVE}=1.28; Y_{TAGO\ 2000}=1.038$$

EL AVE ES MÁS MOLESTO.

3. CONCLUSIONES

A partir de las correlaciones entre variables, se puede estimar que el descriptor psicoacústico Sharpness añade una descripción que no tenemos en el SPL dBA. Los descriptores subjetivos de la molestia tanto de Zwicker como de Md. Shafiqzaman Khan nos puede dar una evaluación acústica más completa. Por otro lado los modelos de molestia coinciden indicando que es más molesto el AVE que el TALGO-2000.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Zwicker, E. & Fastl, H. "Psychoacoustics, Fact and Models" Springer Verlag, 1999.
- Blauert, J. & Jekosch, U. "Sound Quality Evaluation-a multilayeret problem", EEA-Tutorium, Antwerp, 1996.
- Donatas Trapenskias. Sound Quality Assessment Using Binaural Tecnology. Licentiate Thesis. Lulea University of Technology. 1999. ISSN: 1402-1757
- Donatas Trapenskias. Binaural Technology and Issues Related to Sound Quality Analysis and Spatial Hearing. Doctoral Thesis. Lulea University of Technology. 2002. ISSN: 1402-1544.
- Md. Shafiqzaman Khan. Sound Quality Evaluation of Heavy-Duty Engines in Free Field Conditions. Doctoral Thesis. Lulea University of technology. 1998.