



**FIA 2018**

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre**

## **EVALUACIÓN A LARGO PLAZO DE LA VARIABILIDAD DE LOS PARÁMETROS PSICOACÚSTICOS EN DIFERENTES CALLES DE MADRID.**

PACS: 43.50.Rq

Gjura, Malvina; De la Prida, Daniel; Pedrero, Antonio; Díaz, César  
Grupo de investigación en Acústica Arquitectónica. Universidad Politécnica de Madrid  
Avda. Juan de Herrera 4. 28040 Madrid (España)  
Tel. 91 336 42 49  
E-Mail: arquilav.arquitectura@upm.es

### **ABSTRACT**

In this project there has been an investigation of the long-term evaluation of the variability of psychoacoustic parameters in different soundscapes. This investigation is intended to show the effect and trend of the temporary profiles of these parameters in different time frame, also, in addition to necessary time for the stabilization of said indicators.

For this project info term measurement have been taken in several representative streets in the city of Madrid. Subsequently, this has been a defined methodology for analyzing sound environments according to the traditional acoustic and subjective parameter.

### **RESUMEN**

En este trabajo se ha realizado la investigación de la evaluación a largo plazo de la variabilidad de los parámetros psicoacústicos en diferentes paisajes sonoros. Con esto, se pretende mostrar el efecto y la tendencia de los perfiles temporales de estos parámetros en distintos periodos horarios, además del tiempo necesario para la estabilización de dichos indicadores.

Para ello, se han realizado mediciones a largo plazo en diversas calles representativas de la ciudad de Madrid. Posteriormente, se ha definido una metodología de análisis de los ambientes sonoros en función de los parámetros acústicos tradicionales y de los subjetivos.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

## 1. INTRODUCCIÓN

El ruido ambiental es un agente contaminante habitual en los grandes núcleos urbanos y su evaluación se ha basado, históricamente, únicamente en parámetros objetivos como el LAeq. La caracterización psicoacústica de los ambientes sonoros está tomando, en los últimos años, mayor relevancia en todos los campos de acústica incluyéndose, también, la acústica medioambiental.

Los parámetros psicoacústicos más habituales utilizados para la caracterización de los paisajes sonoros fueron descritos por Eberhard Zwicker [1], quién propuso, además, una forma de calcular cada uno de éstos. Los parámetros más utilizados son *loudness*, *sharpness*, *roughness* y *fluctuation strength*. De estos indicadores, tan sólo *loudness* y *sharpness* se encuentran estandarizados a día de hoy [2].

El objetivo principal de esta comunicación es la evaluación a largo plazo de la variabilidad de los parámetros psicoacústicos en diferentes paisajes sonoros de la ciudad de Madrid. Con esto se pretende determinar el tiempo de estabilización de los parámetros subjetivos para caracterizar el ruido ambiental, así como analizar los perfiles temporales de los paisajes bajo estudio.

## 2. METODOLOGÍA

En el proceso de la investigación se contemplaron dos fases diferentes. En la primera fase, la de definición del procedimiento de medida, se determinó el alcance del estudio, estableciendo las condiciones a cumplir para considerar una medida representativa del ruido de tráfico. A continuación, se llevó a cabo una campaña de grabaciones en diferentes calles de Madrid. En la segunda fase, se realizó el pretratamiento de la base de datos con diferentes programas (*Matlab* y *B&K Pulse Sound Quality*), además del análisis estadístico de los parámetros extraídos. En este apartado se describen cada una de las distintas etapas de la investigación.

### 2.1 Procedimiento de medida

Se han realizado, para esta investigación, mediciones *in situ* a largo plazo en tres calles de Madrid. Además, se incluyeron grabaciones de 15 minutos previamente realizadas en otras calles diferentes, con el fin de analizar la variabilidad de los parámetros psicoacústicos en distintos paisajes sonoros. Las grabaciones se realizaron entre los meses de octubre y diciembre de 2017 evitando los días de lluvia y con velocidades de viento muy elevadas.

Para llevar a cabo la campaña de las mediciones se utilizó un sistema de registro de intemperie conectado de manera permanente a la red eléctrica. Adicionalmente se utilizó una batería para asegurar la continuidad de la medida en caso de pérdidas del suministro principal. El sistema de captación del ruido utilizado consta de un micrófono situado sobre un trípode conectado a un sonómetro a través de los cables lemo, todos ellos de Brüel and Kjaer.

Se estableció la realización de mediciones continuas de 24 horas durante una semana, en cada punto de medición.

Además de las grabaciones del sonido se han obtenido datos de las condiciones meteorológicas como humedad, temperatura, presión atmosférica y velocidad de viento para cada hora del día.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

## 2.2 Análisis de las grabaciones

Finalizada la etapa de grabación, se comenzó con el tratamiento de las grabaciones mediante Matlab y B&K *Pulse Sound Quality*. Las grabaciones realizadas se dividieron en fragmentos de 10 segundos sin solapamiento entre fragmentos.

Mediante el programa B&K *Pulse Sound Quality* se ha extraído los indicadores psicoacústicos. Los métodos utilizados para su extracción se basaron en los parámetros instantáneos y estadísticos para fuentes no estacionarias, al ser la fuente predominante el ruido de tráfico [2]. El software dispone de dos métodos diferentes para calcular el *loudness* no estacionario y cuatro métodos para el cálculo de *sharpness*.

Según [4] el método de DIN 45692:2009 es considerado el más apropiado para el cálculo de *sharpness* mientras que, para el *loudness*, se ha utilizado el método descrito en la Norma DIN 45631/A1:2010, puesto que es el método más actualizado de los que dispone el programa. Posteriormente, de cada uno de los fragmentos se extrajeron, mediante el programa de *Pulse Sound Quality*, los indicadores psicoacústicos de *loudness*, *roughness*, *fluctuation strength* y *sharpness*.

Mediante el análisis estadístico se han obtenido gráficos de:

- Medias y desviaciones de perfiles temporales.
- Distribución gaussiana y de la probabilidad acumulada.
- Correlación entre el tiempo de convergencia y las variaciones temporales.
- Correlación entre el tiempo de convergencia y el flujo de tráfico.

Con esto se pretende mostrar el efecto y la tendencia de los perfiles temporales de estos parámetros en distintos periodos horarios, además del tiempo necesario para la estabilización de dichos indicadores y la correlación entre el tiempo de convergencia y el flujo de tráfico.

## 3. RESULTADOS

A partir de las grabaciones a largo plazo de cada una de las calles se ha obtenido una serie de gráficas en la cual se representan los distintos valores a evaluar. Las gráficas presentadas en este apartado serán relativas a los indicadores descritos en la metodología.

En primer lugar, se presentan tabuladas las diferencias, en términos de valores promedio, de todos los indicadores extraídos para dos duraciones distintos de fragmento. Este proceso se lleva a cabo para comprobar si la duración de los fragmentos influye en el cálculo de los indicadores, dado que calcular los indicadores para varios fragmentos de corta duración es más eficiente desde el punto de vista computacional que calcular un fragmento de larga duración.

Para seguir, se presentan los perfiles temporales para todos los ambientes sonoros evaluados a partir de los gráficos de medias y desviaciones.

Además, se han determinado los tiempos de estabilización de los indicadores acústicos y psicoacústicos con el fin de establecer el tiempo máximo necesario de medida, para que todos los parámetros se encuentran estabilizados.

Por otro lado, se ha estudiado la correlación entre el tiempo de estabilización del *loudness* y el flujo de tráfico.

Por último, se ha estudiado la variabilidad de los parámetros psicoacústicos en función de los días de la semana.

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

### 3.1 Analisis de la duración de los fragmentos

El cálculo de los indicadores psicoacústicos en el programa *B&K Pulse Sound Quality* es más eficiente cuando los fragmentos de análisis son de corta duración. Con el fin de agilizar el análisis se decidió establecer la duración de los fragmentos en 10 segundos. Para comprobar la validez de esta duración se dividieron los ficheros originales en fragmentos de 5 minutos y de 10 segundos sin solapamiento entre ellos tal y como se ha explicado en el apartado de metodología.

Se han realizado varias pruebas de dicho análisis y, a continuación, se presenta la tabla con los resultados obtenidos a partir de los datos de 5 minutos y de 10 segundos. Como podemos ver en esta tabla, se puede comprobar que las diferencias entre medias obtenidas de duraciones diferentes se encuentran dentro de los rangos de mínima diferencia perceptible, con excepción de *fluctuation strength*. Se han utilizado las JND como criterios a la hora de analizar las variaciones entre horas y días de la semana [6] [7].

Parámetro	Media_5 min	Media_10 sec	Diferencia	Tolerancia	% Diferencia
<b>Loudness</b>	13,38	13,32	0,06	< 1 JND	0,44%
<b>Roughness</b>	0,68	0,67	0,01	< 1 JND	1,69%
<b>Fluct.Strength</b>	1,69	1,35	0,34	>1 JND	21,59%
<b>Zwicker Sharpness</b>	1,70	1,69	0,01	< 1 JND	0,31%
<b>Aures Sharpness</b>	2,37	2,36	0,01	< 1 JND	0,45%

Tabla 1: Los resultados obtenidos de comparación de fragmentos de 5 minutos y de 10 segundos.

Una vez comprobado esto se han establecido los fragmentos de 10 segundos como los más adecuados para llevar a cabo este proyecto.

### 3.2 Análisis de los perfiles temporales

En lo que corresponde a los gráficos de medias y desviaciones de los perfiles temporales para cada hora del día, se muestra el valor máximo, mínimo, la media y la desviación estándar de los datos, correspondiente a la misma hora durante toda la semana.

En el gráfico 1 se presentan dos ejemplos de los perfiles temporales de *loudness*. En la izquierda se puede observar el análisis de los días laborables de una semana y en el gráfico de la derecha se presenta el perfil temporal de *loudness* teniendo en cuenta la evaluación temporal de los parámetros psicoacústicos y acústicos solo en fin de semana.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

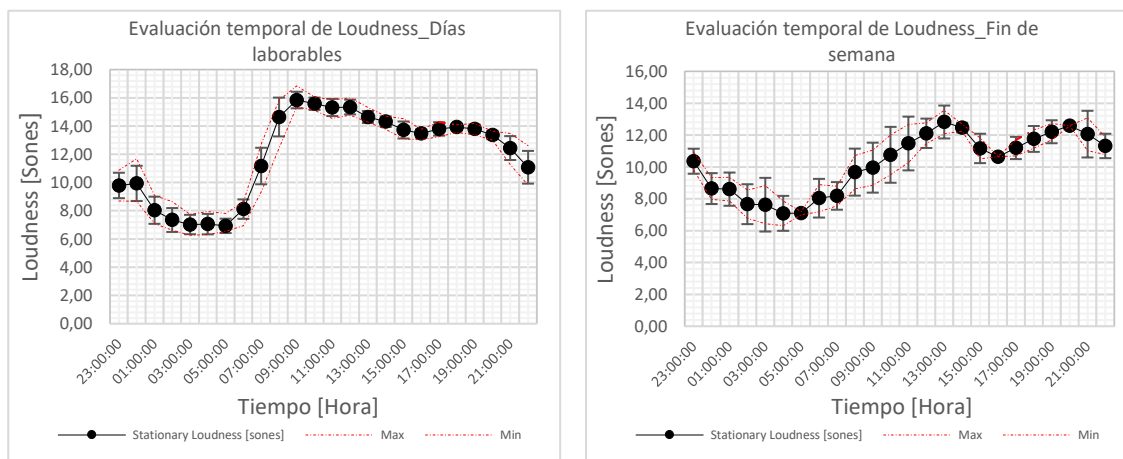


Gráfico 1. Evaluación temporal de loudness. Izquierda, análisis de días laborables. Derecha, análisis de los fines de semana.

Como se puede apreciar en el gráfico de izquierda, las desviaciones, los valores máximos y mínimos están muy cercanos a la curva de las medias. El gráfico del fin de semana, sin embargo, presenta un perfil temporal muy diferente al gráfico de los días laborables, aunque se trate, en ambos casos, de la misma calle. Ello lleva a la conclusión de que es mejor realizar análisis independientes del comportamiento de los días laborables y el del fin de semana de manera que se encuentren resultados representativos y se comprenda el comportamiento de una calle a lo largo de la semana.

### 3.3 Tiempo de estabilización de los parámetros

En este apartado se presenta el concepto del tiempo de estabilización de los parámetros acústicos y psicoacústicos. Existen estudios previos sobre el tiempo de estabilización de una medición de ruido de tráfico [5], pero en general estos se refieren únicamente al nivel continuo equivalente ponderado A. El estudio del tiempo de estabilización de los indicadores psicoacústicos presenta una novedad en el análisis de espacios sonoros urbanos.

Mediante el análisis estadístico se obtuvieron los tiempos de estabilización para cada hora del día en cada uno de los parámetros, teniendo como criterio una tolerancia del 10 % entre el valor horario y los valores acumulativos. Los resultados obtenidos en dicho análisis se han utilizado posteriormente para obtener la densidad de la probabilidad y la probabilidad acumulada.

A continuación, se pueden observar los gráficos de distribución gaussiana y de la probabilidad acumulada para cada uno de los parámetros psicoacústicos.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

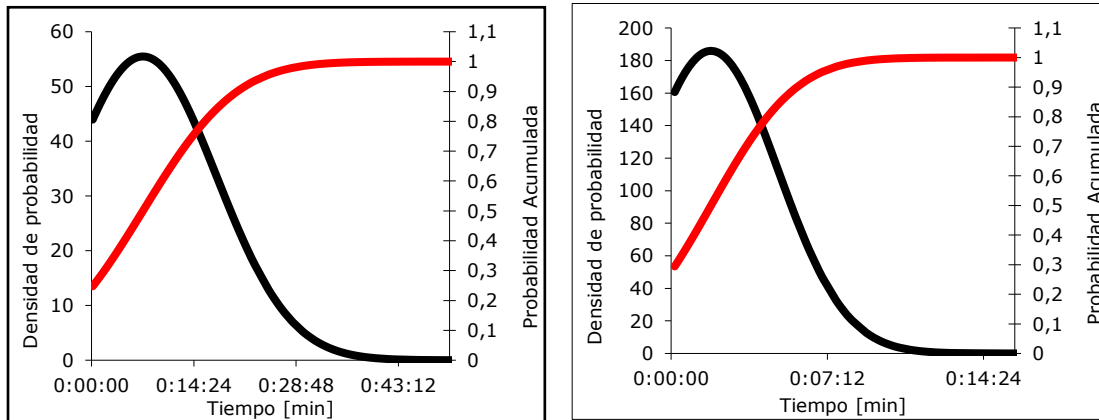


Gráfico 2. La distribución de Gauss y la probabilidad acumulada. Izquierda, el parámetro de loudness. Derecha, el parámetro de roughness.

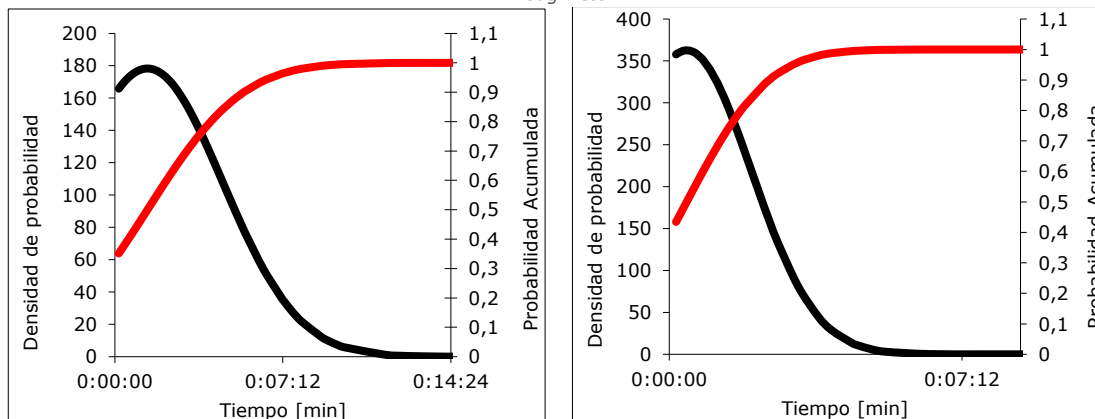


Gráfico 3. La distribución de Gauss y la probabilidad acumulada. Izquierda, el parámetro de fluctuation strength. Derecha, el parámetro de sharpness.

La línea negra corresponde a la distribución de Gauss. Normalmente dicha línea tiene una forma acampanada y es simétrica respecto a un determinado parámetro estadístico, pero en nuestro caso se ha hecho un muestreo cada 10 segundos y no tenemos información de lo que pasa durante estos segundos.

La línea roja corresponde a la probabilidad acumulada y se ha utilizado para obtener los tiempos de estabilización en función de los niveles de confianza y para los coeficientes  $k$  iguales a 1, 1,65 y 2. Dichos resultados se presentan en la siguiente tabla.

Parámetro	Coficiente $k$	Nivel de confianza	Tiempo de estabilización
Loudness	1	68	0:12:01
	1,65	90	0:21:01
	2	95	0:24:05
Roughness	1	68	0:03:17
	1,65	90	0:05:49
	2	95	0:06:57
Fluct.Strength	1	68	0:03:07
	1,65	90	0:05:32
	2	95	0:06:45
Sharpness	1	68	0:01:20



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

<i>Zwicker</i>	1,65	90	0:02:29
	2	95	0:03:03
<i>Sharpness Aures</i>	1	68	0:00:50
	1,65	90	0:01:30
	2	95	0:01:50

Tabla 2. Los tiempos de estabilización de los parámetros acústicos en función del coeficiente *k*.

Como se puede apreciar, los parámetros de *roughness* y *fluctuation strength* tardan aproximadamente 7 minutos en estabilizarse para un nivel de confianza del 95 %. En cuanto al *sharpness* se verifica que independientemente de si es obtenido mediante el método de Zwicker o de Aures tarda aproximadamente 3 minutos en estabilizarse. Por último, para el *loudness* se necesitan 25 minutos de medición para asegurar la estabilización del ambiente. Se llega, por tanto, a la conclusión de que para un nivel de confianza del 95 %, son necesarios 25 minutos para la estabilización de todos los parámetros psicoacústicos.

### 3.4 Correlación entre el tiempo de estabilización y el flujo de tráfico

En el siguiente gráfico se muestran los tiempos de estabilización obtenidos para el loudness. En función de la intensidad del flujo de tráfico para una serie de fragmentos grabados con objeto de analizar si existe una correlación lineal entre estas magnitudes.

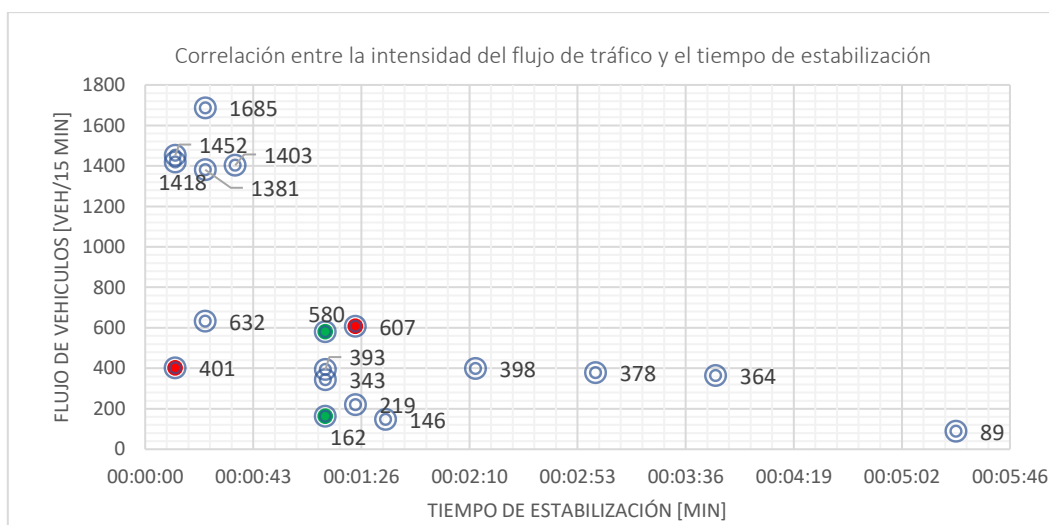


Gráfico 4. Correlación entre la intensidad del flujo de tráfico y el tiempo de estabilización.

Se puede observar que, como norma general, para intensidades altas de ruido de tráfico se obtienen tiempos de estabilización pequeños. No obstante, hay una gran dispersión en los datos y no es posible ajustar una curva teórica que indique la correlación entre estas magnitudes.

Se han resaltado con colores dos casos interesantes a analizar. En el primer caso (en color rojo), se puede ver que en la Avenida de Juan Herrera, que tiene un flujo de 401 veh/15 min, los parámetros psicoacústicos se estabilizan en menos tiempo que para la calle de Alberto Aguilera, con un flujo de 607 veh/15 min.

En el segundo caso (en color verde), ambas calles se estabilizan en un minuto y medio si bien sus flujos de tráfico son muy distintos (162 veh/15min para la calle de Guzmán el Bueno y, 580 veh/15min para la calle de Alberto Aguilera). Cabe destacar que hay una diferencia significativa respecto al flujo de tráfico, por tanto, se puede llegar a la conclusión que dicha relación no es muy cuantificable.

FIA 2018

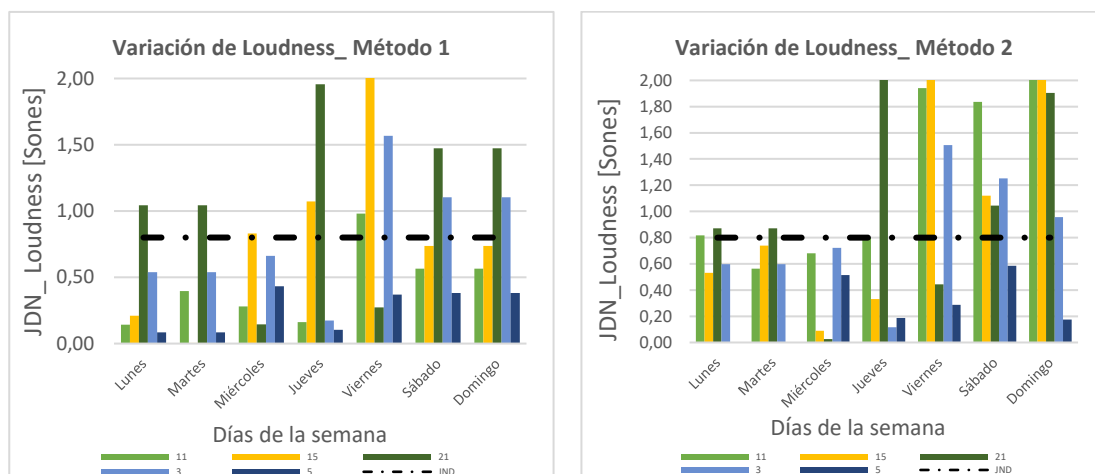
XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

En un estudio anterior [3], las calles de Guzmán el Bueno y Alberto Aguilera se han clasificado mediante un clasificador jerárquico como ambientes con características arquitectónicas muy diferentes. Puede que otros factores, como los que describe este estudio, influyan también en el tiempo de estabilización.

### 3.5 Variabilidad de los parámetros psicoacústicos

Por último, se presentan los resultados de la variabilidad de los parámetros psicoacústicos en función de los días de la semana. El gráfico de la izquierda se ha obtenido teniendo en cuenta todos los días de la semana mientras que el de la derecha se ha obtenido evaluando por separado los días laborables y los fines de semana.

También en este caso se han utilizado las JND como criterios a la hora de analizar las variaciones entre horas y días de la semana [6] [7].



En el primer gráfico se observa que del lunes al jueves el *loudness* es más estable y en la mayoría de las horas la variación no sobrepasa 1 JND. También se puede ver que dicha tendencia cambia el viernes.

En el segundo gráfico, dado que se ha tenido en cuenta el fin de semana, se observa que hay dos agrupamientos: durante la semana todo se mantiene más estable y durante el fin de semana, incluyendo también el viernes, se observan variaciones en todos los periodos horarios independientemente de la hora elegida.

Respecto al *roughness*, se obtiene la misma tendencia de la variabilidad durante todos los días de la semana. En la mayoría de las horas se encuentra por debajo de 1 JND, excepto en algún caso particular, donde varía como máximo 2 JND. El *fluctuation strength* se representa una vez más como el parámetro que más variación tiene en términos de JND. En el 50 % de los casos está entre 4 y 10 JND. Este comportamiento es igual en todas las calles que se han estudiado en este investigación. En cuanto al parámetro de *sharpness*, los resultados obtenidos los días laborables también siguen un patrón presentando más variaciones durante el fin de semana al igual que el parámetro de *roughness*.



#### 4. CONCLUSIONES

- Se ha comprobado que las diferencias entre los promedios de duraciones diferentes se encuentran dentro de las tolerancias respectivas, excepto el *fluctuation strength*. De esta manera se concluye que se obtienen los mismos resultados independientemente de la duración de los fragmentos utilizadas para extraer los parámetros psicoacústicos.
- Mediante los gráficos de medias y desviaciones se han evaluado los perfiles temporales de los parámetros subjetivos y objetivos y se ha comprobado que para el parámetro de *loudness*, los perfiles temporales de días laborables son muy diferentes si se comparan con los de fines de semana. El perfil va variando a lo largo del día y en todas las calles se observa que el periodo de día tiene más variabilidad que el resto de los periodos.
- Respecto a los parámetros de *roughness*, *fluctuation strength* y *sharpness*, los perfiles de las evaluaciones temporales se mantienen constantes durante el periodo de día y de tarde, mientras que por la noche se observa un aumento de los niveles y las desviaciones para cada parámetro.
- Mediante los resultados obtenidos con el análisis estadístico y las curvas de probabilidad acumulada se llega a la conclusión de que para la estabilización de todos los parámetros psicoacústicos es necesario medir en continuo 25 minutos para un nivel de confianza del 95 %.
- En lo que respecta a la correlación entre el flujo de tráfico y el tiempo de estabilización de *loudness* parece que no existe una relación clara entre ellos. Debido a la gran dispersión de datos no se pueda ajustar una curva teórica.
- En lo que concierne a la variabilidad de los parámetros psicoacústicos se concluye que los parámetros de *loudness*, *roughness* y *sharpness* representan dos patrones diferentes: uno más estable durante los días laborables y otro con mas variaciones en el fin de semana. El *fluctuation strength* presenta grandes variaciones durante todos los días de la semana. Así, se llega a la conclusión de que, para la caracterización de un paisaje sonoro mediante los parámetros subjetivos es necesario grabar no solamente en días laborables sino también en el fin de semana.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] H. Fastl and E. Zwicker, *Psychoacoustics: Facts and models*. 2007.
- [2] A. Camacho García, "Procesado Tiempo-Frecuencia : Aplicación a la percepción humana del sonido," p. 208, 2014.
- [3] P. Oliveira Núñez and D. de la Prida Caballero, "Caracterización de los paisajes sonoros en calles de Madrid," 2017.
- [4] HEAD Acoustics, "Loudness and Sharpness Calculation with ArtemiS," *HEAD Acoust. GmbH*, vol. 1, pp. 1–13, 2006.
- [5] F. Miyara, P. Miechi, and V. Irene, "Tiempos de estabilización del espectro del ruido de tránsito," pp. 1–8, 2008.
- [6] J. You and J. Y. Jeon, "Just noticeable differences in sound quality metrics for refrigerator noise," *Noise Control Eng. J.*, vol. 56, no. 6, pp. 414–424, 2008.
- [7] F. Pedrielli, E. Carletti, and C. Casazza, "Just noticeable differences of loudness and sharpness for earth moving machines," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 123, no. 5, p. 3164, 2008.



**FIA 2018**

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre**