

## PROPUESTA DE ENSAYO DE MEDICIÓN DE LA DIRECCIONALIDAD SONORA DE VEHÍCULOS RODADOS

PACS: 43.50.Ba

Peral Orts, Ramón; Marín López, José María; Velasco Sánchez, Emilio  
Universidad Miguel Hernández de Elche  
Av. de la Universidad s/n  
03202 Elche. España.  
Telf: 966 658 579  
E-mail: ramon.peral@umh.es

### ABSTRACT

Current road traffic noise calculation models used for noise assessment and management purposes generally make no assumptions about the possibility of different directivity patterns associated with different generic vehicle types. If there are any such differences then this could contribute to noise level prediction inaccuracies. This means that it could be useful to be able to measure the directivity patterns of each individual vehicle moving within an overall road traffic stream. In this paper, we consider the various technical possibilities for carrying out such measurements. We then describe the practical development of a method that uses a fixed array of exponentially distributed measurement grade microphones. Theoretical analysis, simulations, and controlled measurements all indicate that the fixed array can achieve a higher signal to background noise ratio at the more acute angles to the moving vehicle.

### RESUMEN

Los vehículos rodados son importantes fuentes sonoras, y principales causantes de ruido en las calles de nuestras ciudades. Por ello, la legislación contempla sistemas para el control y evaluación de los niveles producidos por los automóviles, ciclomotores y autocares en zonas urbanas e interurbanas [1]. El uso de modelos de predicción de ruido de tráfico es una técnica muy empleada con el objeto de obtener niveles de ruido, empleando como datos de partida las características del tráfico y del entorno en el que se desarrolla. La gran mayoría de estos modelos consideran que los vehículos son fuentes de ruido omnidireccionales, tanto puntuales, como lineales [2]. Este hecho no ha quedado contrastado, puesto que no se dispone de información concreta a cerca de la directividad sonora de vehículos rodados en movimiento, a media y alta velocidad.

Por ello, desde el Laboratorio de Ingeniería Acústica y Vibraciones de la Universidad Miguel Hernández de Elche, se está trabajando para establecer un método eficaz para la medición y posterior evaluación de la directividad sonora de vehículos rodados en condiciones de alta velocidad.

## INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Algunas Fuentes de ruido tradicionales, como los aviones o el tráfico rodado han aumentado su número e importancia relativa durante los últimos años. Como resultado de este hecho, la presión y concienciación social han potenciado la creación de nuevas herramientas y sistemas para el control de este tipo de fuentes de ruido. En particular, el ruido de tráfico está siendo el principal objetivo de estudio, dada su importancia y cercanía de los principales núcleos urbanos de todo el planeta.

En relación a esto, nuevas directivas han sido introducidas para el control y evaluación de vehículos ligeros y pesados [1], también para la gestión y predicción de los niveles sonoros en grandes aglomeraciones y principales vías de tráfico [2]. Estos textos hacen referencia al uso de modelos de predicción de ruido de tráfico para determinar los niveles de exposición sonora y que sirvan como herramientas de gestión en ambientes urbanos e interurbanos. La mayoría de los modelos, para el desarrollo de sus algoritmos, parten de la hipótesis de que el vehículo actúa como fuente de ruido omnidireccional. Esta suposición parece funcionar razonablemente bien cuando los vehículos circulan a bajas velocidades, sin embrago en medias y altas velocidades los resultados no son tan fiables.

Tras una revisión bibliográfica inicial, se apreció la ausencia de técnicas o métodos de medición fiables para la determinación de la directividad sonora de un vehículo rodado en condiciones de alta velocidad. Diversos autores han publicado técnicas de medición para vehículos parados, o incluso técnicas para determinar la directividad vertical al paso del vehículo (ver Chew [3-4] y Mori [5]), pero no se ha encontrado constancia de investigaciones relativa a la directividad horizontal para vehículos en movimiento.

Este artículo presenta los aspectos analizados y los pasos seguidos para la definición de un método fiable para la obtención de la direccionalidad sonora de vehículos rodados. A continuación se describen algunas de las alternativas analizadas como posibles propuestas.

## SISTEMA DE MICROFONOS EMBARCADOS

Las primeras ideas apuntaban al embarcado de micrófonos en el vehículo, para poder obtener directamente los niveles sonoros del mismo. Estas primeras configuraciones podrían haberse desarrollado tanto con un sistema estructural fijo con varios micrófonos o un brazo articulado con un único micrófono que cambiara su posición. Sin embrago, los problemas planteados por este tipo de sistemas concluyeron con su descarte:

- *Ruido de viento*. La acción del viento sobre los micrófonos en condiciones de alta velocidad supone una interferencia capaz de enmascarar los niveles sonoros producidos realmente por el vehículo. Teóricamente, este problema podría haberse resuelto aplicando técnicas de tratamiento de señal, pero esta alternativa es totalmente descartable dado el carácter aleatorio de este tipo de ruido.
- *Ruido debido a la resonancia estructural*. La frecuencia de resonancia de la estructura podría causar un problema similar al del viento con difícil solución.

## ENSAYO PASS-BY CON UN MICROFONO

Esta técnica de medición se basaría en los ensayos empleados para la homologación de vehículos [1]. Consiste en la medición sonora del vehículo, con un micrófono a una distancia de 7,5 metros y midiendo en continuo. El vehículo circula siguiendo una línea de recorrido a una velocidad constante de 50 Km/h. Los niveles sonoros obtenidos, podrían ser posteriormente analizados y modificados empleando para ello modelos de propagación Sonora. De esta manera, se obtendrían los niveles de presión sonora para los diferentes ángulos relativos a la posición del vehículo. A pesar de ello, este método fue rechazado por los siguientes motivos:

- *Ruido de Fondo.* Cuando la fuente de ruido se encuentra alejada del micrófono el nivel sonoro del vehículo se ve camuflado por la presencia del ruido de fondo, siendo imposible separar ambas señales.
- *Posición del vehículo.* Este método necesita conocer la posición del vehículo ensayado en cada instante de tiempo, este. Esta información es difícil de obtener con la precisión deseada.

## ENSAYO PASS-BY CON UN ARRAY DE MICROFONOS

Este método de medición pretende resolver algunos de los problemas planteados por el propuesto anteriormente. Para ello, se propuso la sustitución del micrófono por una antena de micrófonos tipo "array" lineal. Estos sistemas actúan como micrófonos altamente direccionales, con lo que sería posible focalizar su acción hacia la posición de la fuente de ruido, disminuyendo en gran medida la alteración debida al ruido de fondo. A su vez, la antena podría actuar como sistema localizador de la fuente sonora, aplicando para ello técnicas de tratamiento de señal [7].

Tras adoptar este formato para el ensayo, se procedió a simular el comportamiento de un sistema de array ante el ensayo pass-by de un vehículo rodado. Para ello, a través del matlab se simuló el paso de una fuente de ruido en movimiento emitiendo una señal tonal, tal y como muestra la Figura 1. El sistema se dispuso para diferentes frecuencias, puesto que la efectividad del sistema array va a depender en gran medida de la frecuencia a analizar (500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz).

En el siguiente apartado se comenta brevemente la base teórica de un sistema de micrófonos de las características del simulado y que posteriormente será empleado en el ensayo.

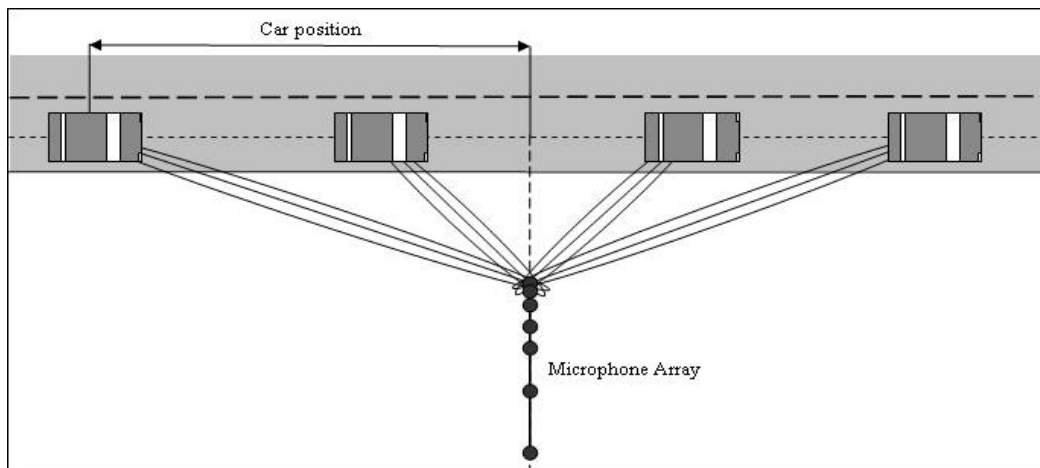


Figure 1. Esquema de la simulación realizada en Matlab.

## DESARROLLO TEÓRICO

Un sistema de micrófonos array, consiste en un grupo de transductores dispuestos según una distribución conocida, gracias a la cual es posible relacionar las señales que obtiene cada uno de ellos con el fin de obtener un único valor obtenido de una dirección determinada. Los arrays lineales suelen distribuir los sensores con una distancia constante para todos ellos [6], sin embargo para el caso que nos ocupa se ha pensado una distribución de distancias

exponencial, con el fin de aumentar el rango de frecuencias de trabajo. La siguiente ecuación define la distancia entre micrófonos.

$$Dist(N) = \frac{\exp(N - 1) - 1}{100}$$

Donde N es el número de cada micrófono (del 1 a 7). Quedando el vector distancia:

Distancia = [0, 0.017, 0.064, 0.191, 0.536, 1.474, 4.024]

En este caso y dado que el vehículo se va a situar a distancias relativamente pequeñas, se ha modelizado el comportamiento del array empleando frentes de onda como el mostrado en la figura 2.

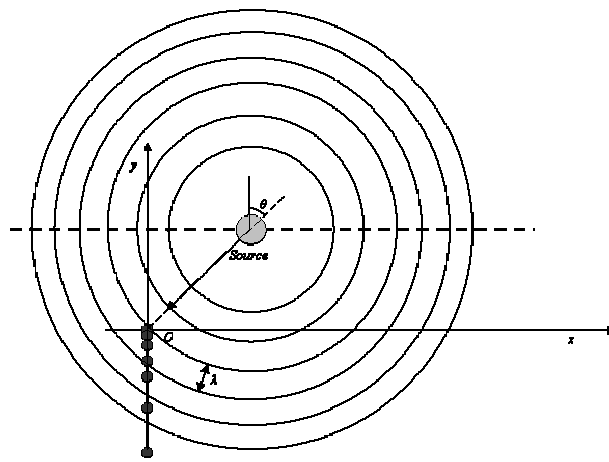


Figure 2. Circular wavefront of a noise source in movement

#### Ganancia del sistema:

Para poder determinar la capacidad de discriminación que alcanza el array diseñado, se calculó la ganancia que obtendría de una onda circular, con una dirección de acceso alpha. El resultado es comúnmente conocido como "beam power pattern", y lo podemos visualizar en la figura 3. Como se puede apreciar, para bajas frecuencias (125 Hz 250 Hz, en negro), la direccionalidad del array no es excesivamente significativa. Por el contrario, para las frecuencias en las que estaríamos mas interesados (500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz, en gris), el pico pasa a ser mucho mas estrecho, indicando la importante direccionalidad del array para esas frecuencias.

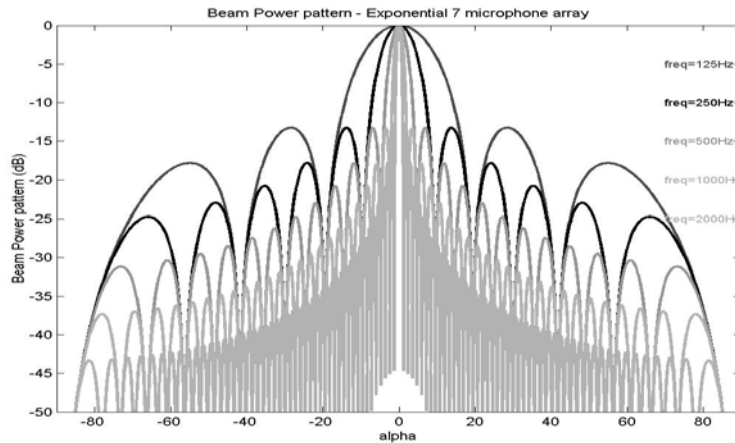


Figura 3. Representación de la ganancia del array exponencial en función de la frecuencia y del ángulo de procedencia de la señal. "Beam power pattern".

### Sistema Direccional.

Dada la característica de la fuente de ruido estudiada, podría ser de gran utilidad emplear un "array" direccional, con el cual no sería necesario cambiar la posición del mismo. Esta forma de medir, introduce un retraso en el proceso de análisis de la señal, distinto en cada uno de los micrófonos en función de la posición de la fuente estudiada. Gracias al ajuste de estos retrasos, es posible asegurar que una onda proveniente de una dirección dada, digamos  $\theta$ , llega a la suma de señales en fase.

La señal de salida en una posición, para el sensor  $n^{\text{th}}$ , es:

$$Ae^{i\{\omega(t-\tau_n)+d(n)k \sin(\alpha)\}}$$

El retraso para esa posición sería:

$$\tau_n = \frac{d(n)k \sin(\alpha)}{\omega} = \frac{d(n) \sin(\alpha)}{c}$$

Con lo que la salida del bloque,  $y_n(t)$ , será:

$$y_n(t) = Ae^{i\omega t}$$

Donde  $d(n)$  es una función que dependerá de la posición de cada micrófono:

Una gran ventaja derivada del uso de un sistema array direccional es la capacidad de obtener en el posterior tratamiento de los datos, los niveles sonoros en diferentes direcciones.

## **RESULTADOS**

Para la obtención de resultados, se emplearon diferentes propuesta de directividad de la fuente en movimiento, pero en todos los casos los resultados obtenidos mostraron que empleando el sistema array, los resultados medidos se aproximan mucho mas a los realmente emitidos por la fuente de ruido. La siguiente figura, muestra estas diferencias para el caso de una fuente sonora en movimiento en un entrono con ruido de fondo. La representación de la huella sonora con ambos sistemas, deja ver como las diferencias se hacen patentes en las zonas próximas a 0 y 180 grados.

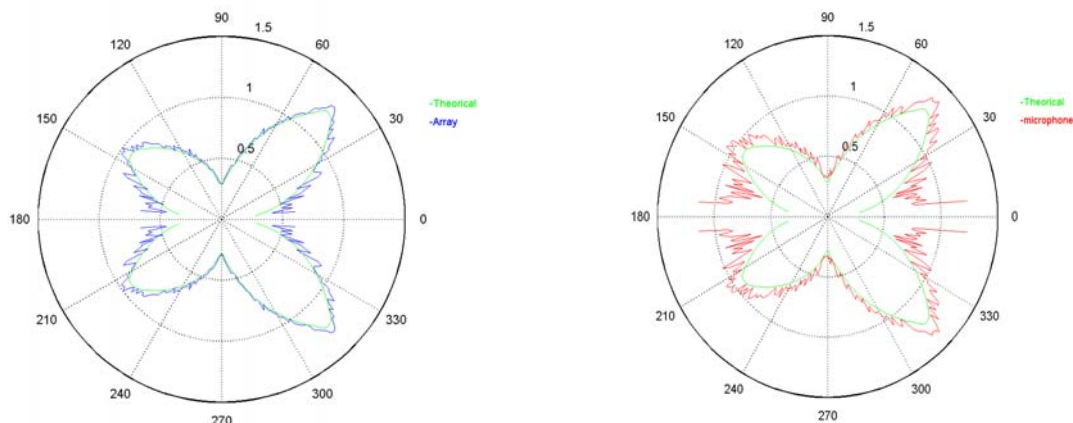


Figura 4. Simulación de vehículos en movimiento, existiendo ruido de fondo en el entorno de ensayo.

## CONCLUSIONES

Observando los resultados obtenidos de la simulación, se puede llegar a la conclusión de que emplear un método de medición con un array direccional de las características que se muestra, podría permitir la obtención de la huella sonora de un vehículo en movimiento a alta velocidad de una forma precisa y fiable.

En la actualidad, se está probando el comportamiento del array diseñado (ver figura 5), empezando a ensayarse con fuentes sonoras estáticas y dinámicas. A su vez, se está simulando otras posibles combinaciones de micrófonos obteniéndose en algunos casos resultados satisfactorios.



Figura 5. Fotografías del array exponencial diseñado

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Comisión Europea, Directivas 70/157 y 1999/101. Diaria Oficial de la Comisión Europea.
- [2] Comisión Europea, Directiva 2002/49/EC, Diaria Oficial de la Comisión Europea L189, pp.12-25 (Junio 2002)
- [3] C. H. Chew, Vertical directivity of train noise, Applied Acoustics Vol 51, N°2, pp. 157–168, (1997).
- [4] C.H. Chew, Vertical Directivity Pattern of a train noise, Applied Acoustics, Vol 55, N°3, pp. 243-250, (1998).
- [5] Y. Miro, Noise directivity of vehicles on actual road, Proceedings of Internoise-99, Florida, 1999.

- [6] P.R. White, Advantage Acoustics, noise and vibration, note course; Array signal processing, ISVR, Southampton, 2003.
- [7] M. Genescà, J. Romeu and M.M. Boone, "Evaluación de un sistema matricial de 8 micrófonos para la localización de fuentes sonoras", Proc. XXXIV Congreso Nacional de Acústica, Bilbao, 15-17 Octubre 2003.