

# Investigación en el campo del control del ruido

J. Salvador Santiago Páez, C. Delgado Bueno y J. Pons Espí  
Instituto de Acústica, CSIC. Serrano 144, 28006 Madrid  
Tel. 915618806 Fax. 914117651

## Resumen

El Laboratorio de Acústica Ambiental del Instituto de Acústica ha llevado a cabo estudios sobre la influencia de distintos tipos de fuentes móviles sobre el medio ambiente: tráfico rodado, tráfico ferroviario y tráfico aéreo fundamentalmente. La mayor parte de dichos estudios han sido realizados mediante el establecimiento de contratos o programas de colaboración con organismos estatales o municipales, principalmente el Ayuntamiento de Madrid, RENFE, AENA.

## Abstract

The Laboratory of Environmental Acoustics of the Instituto de Acústica has studied the influence of different types of mobile sources on the environment: road traffic, trains, air traffic. Most of the studies have been carried out through contracts or collaboration programmes with national or municipal organisations, mainly the Municipality of Madrid, RENFE and AENA.

## Ruido de tráfico rodado

En el año 1963, siendo reciente el inicio del Departamento de Acústica del Centro de Física Aplicada “L. Torres Quevedo” y al regreso de nuestra estancia en el National Physical Laboratory de Teddington (Inglaterra), donde se había participado en los ensayos para establecer el dBA como índice de medida del ruido de tráfico rodado, se iniciaron, bajo la dirección del Dr. Ing. D. Andrés Lara Sáenz los estudios para determinar niveles de ruido de tráfico en Madrid, utilizando técnicas de muestreo estadístico; en estos estudios intervinieron los físicos Antonio Pérez López, Miguel Estarellas y J. Salvador Santiago, así como el técnico

de laboratorio Julián García Zaragoza y el ayudante Claudio Gaztañaga.

La instrumentación utilizada consistía en un micrófono de condensador con pantalla antiviento, un amplificador de micrófono y un registrador gráfico de nivel conectado a un analizador estadístico de niveles mecánico-eléctrico que contaba durante cuanto tiempo el nivel sonoro se mantenía en un intervalo de niveles determinado, normalmente de 5 dBA. El sistema se ponía en marcha durante diez minutos cada media hora, y se contaban los vehículos que pasaban frente al micrófono, distinguiendo entre vehículos pesados, ligeros y motocicletas.

Como parámetro para representar el ambiente sonoro es escogió el **clima de ruido**, es decir el margen de niveles de ruido presente durante el 80% del tiempo, la diferencia entre el percentil  $L_{10}$  y el  $L_{90}$ .

Los climas de ruido se calcularon a partir de las distribuciones estadísticas acumulativas de niveles, una vez comprobado que dichas distribuciones eran, razonablemente, del tipo de distribución de Gauss.

El límite superior del clima de ruido,  $L_{10}$ , se ajustó, mediante una expresión del tipo

$$L = N + a \cdot \lg \frac{D}{m} - b \cdot \lg \frac{D}{n} - c \cdot \lg \frac{l}{p}$$

donde N depende del tipo de pavimento y la inclinación de la calzada (varía de 73 a 76), D es la densidad de tráfico, en vehículos por hora, y l el ancho de la calzada, en m.

Ajustando los parámetros a partir de los resultados de las mediciones efectuadas, la expresión empírica resultante fue:

$$L, dBA = N + 9 \lg \frac{\text{vehic.ligeros} + \text{motocicl.}}{100} + 10 \lg \frac{\text{vehic.pesados}}{100} - 10 \lg \frac{\text{vehic.total}}{1000} - 5 \lg \frac{l}{50}$$

Posteriormente, y después de la creación del Instituto de Acústica, cuando ya se habían incorporado al Laboratorio de Acústica Ambiental los físicos Carmen Delgado y José Pons,

se inició la colaboración con el Ayuntamiento de Madrid, mediante la firma de un convenio para la realización de estudios acústicos en relación con la ciudad.

Como un estudio dentro del Convenio del Ayuntamiento de Madrid con el Instituto, se planteó, a petición de aquel, la realización del **Mapa Acústico de Madrid**, mediante medidas reales en el borde de la calzada, en el área correspondiente al interior de la vía de circulación rápida M 30.

El área cubierta por el proyecto tiene una superficie aproximada de 56 km<sup>2</sup>. Aunque en un principio se estudió la posibilidad de realizar medidas tanto diurnas como nocturnas, finalmente se decidió concentrarse en el estudio del ruido durante el día. Madrid tiene como característica diferencial con otras ciudades europeas la inexistencia de horas punta y horas valle de tráfico de vehículos entre, aproximadamente las 8 y las 21 horas, con una tendencia creciente a acortarse el período nocturno de bajo tráfico. El análisis de los datos de aforos de tráfico de lugares significativos de la ciudad dio como resultado que entre las 7 y las 22 horas las diferencias entre el flujo medio horario de vehículos y los valores máximo y mínimo era del orden del 20%, con un valor algo inferior entre las 10 y las 18 horas.

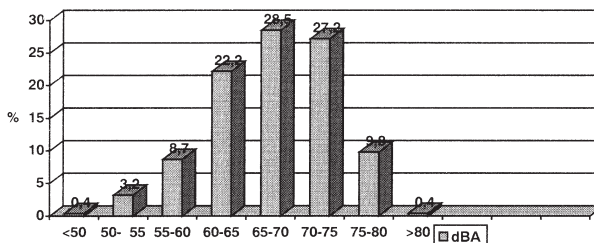
Se escogió el método de la implantación de una cuadrícula regular sobre el plano de la ciudad para determinar los puntos de medida. La distancia entre puntos de medida se fijó en 250 m, con lo que el número de puntos de medida resultante fue del orden de 900. Para la estadística temporal, se eligió un intervalo de medida de cinco minutos cada media hora, lo que incluye, en la mayoría de los casos, el paso de un autobús urbano, por las vías principales, dentro del intervalo de medida. En cada punto, se llevaron a cabo 16 medidas (10 a 18 horas).

Las mediciones se llevaron a cabo en los días centrales, martes, miércoles y jueves, de la semana, instalándose simultáneamente cinco o seis puestos de medida, registrando los niveles de ruido durante los primeros cinco minutos de cada media hora y contando los vehículos que pasaban frente al micrófono, distinguiendo entre vehículos ligeros, pesados y motocicletas.

Los datos acústicos se almacenaban en cinta magnética para un procesamiento posterior en el laboratorio, obteniéndose los valores de  $L_{eq}$ ,  $L_1$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{95}$  y  $L_{99}$  de cada uno de los intervalos de medida y el  $L_{eq}$  total de los 16  $L_{eq}$  parciales, índice que se toma como característico del punto de medida.

Una vez terminado el estudio, que se extendió a lo largo de cinco años, se procesó el conjunto de los datos para obtener las relaciones entre los distintos índices y el flujo de vehículos, porcentaje de vehículos pesados y características físicas de las vías de circulación, lo que permitiría, en función de las variaciones de tráfico y otras circunstancias, actualizar el mapa acústico de la ciudad.

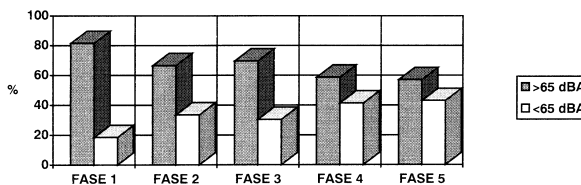
En la figura se presenta la distribución de los valores de  $L_{eq}$ , en intervalos de 5 dBA, para los puntos medidos a lo largo de los cinco años de duración del estudio.



En la tabla se presenta la variación del porcentaje de puntos de medida cuyos niveles están por encima y por debajo de dichos 65 dBA al pasar de la parte del centro de la ciudad (Fases 1, 2 y 3) hacia las zonas periféricas.

Porcentaje de puntos de medida con respecto al valor límite de  $L_{eq} = 65$  dBA.

| Niveles $L_{eq}$ | Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | Fase 4 | Fase 5 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| %                | %      | %      | %      | %      |        |
| > 65 dBA         | 81,5   | 66,5   | 69,6   | 58,7   | 57     |
| < 65dBA          | 18,5   | 33,5   | 30,4   | 41,3   | 43     |



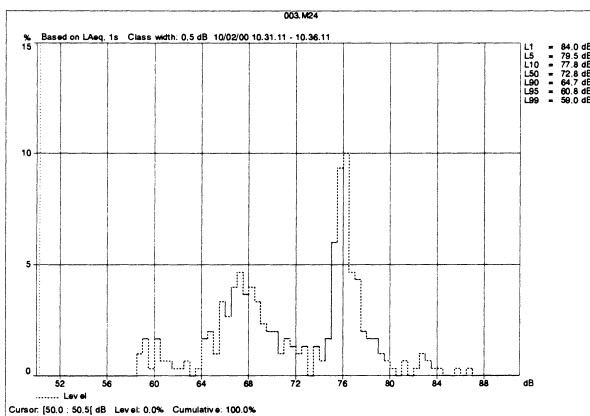
Con objeto de actualizar, por una parte, y completar por otra, los datos que sobre contaminación acústica obtiene el Ayuntamiento de Madrid con su red de vigilancia de los niveles sonoros, se ha replanteado en el año 1999 la realización de un Plano Acústico de Madrid por parte del Instituto, extendiendo su realización a los 23 distritos metropolitanos, y con un plazo de realización que se ha fijado en principio de dos años.

Para llevar a cabo este trabajo, por parte del Instituto se ha ampliado y actualizado la instrumentación y logística de medición de niveles sonoros, poniendo a punto un conjunto de seis Laboratorios Móviles de medida y análisis de señales acústicas. Estos laboratorios móviles están instalados en vehículos ligeros preparados para sostener un mástil que permite colocar el micrófono de medida a tres metros de altura

sobre el suelo, y constan de un procesador/almacenador de señales acústicas, un equipo de comunicaciones por radio y contadores de vehículos. La ubicación de los puntos de medida se lleva a cabo mediante un GPS portátil, en aquellos lugares en los que existe suficiente cobertura de satélites. Para el estudio se ha elegido una localización de puntos de medición basada en una cuadrícula de 200 x 200 m.

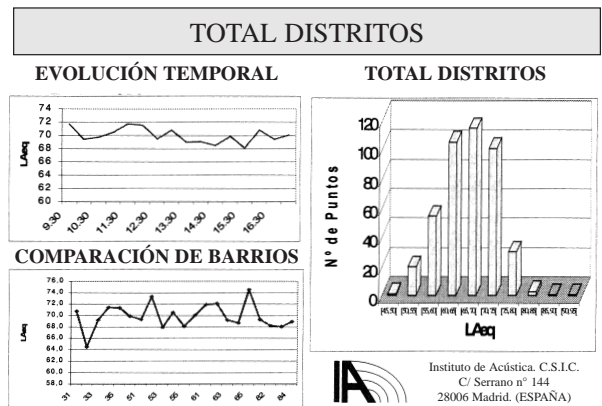
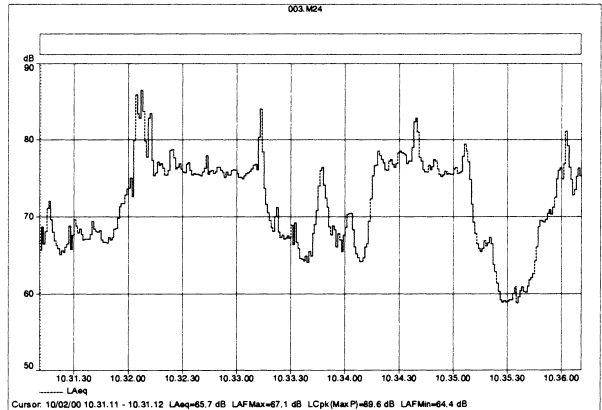


En cada punto de medición se obtienen, durante cinco minutos de cada media hora, los datos correspondientes a  $L_{eq}$ ,  $L_1$ ,  $L_5$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{95}$  y  $L_{99}$ , y se obtienen distribuciones estadísticas y registros de nivel/tiempo como los de las figuras siguientes.



En este caso,  $L_{eq} = 75,2$  dBA; anchura de la vía, 100 m; el pavimento es asfalto, es una vía con tráfico en ambos sentidos, seis carriles, tres en cada sentido; flujo de tráfico, 7224 vehículos/hora; porcentaje de vehículos pesados, 6 %.

Finalmente, los resultados se agrupan por distritos, barrios, etc.



### Ruido de aeronaves

El primer estudio que se llevó a cabo dentro del convenio de colaboración Instituto-Ayuntamiento fue para determinar la influencia del funcionamiento del Aeropuerto de Barajas en el área metropolitana, mediante la determinación de las isófonas producidas por el vuelo de las aeronaves.

Para el estudio se planteó el establecer una serie de puntos de medida, a 1,2 m de altura sobre el suelo, situadas a lo largo de líneas perpendiculares a las dos pistas de vuelo, separadas 500 m entre si, y con los puntos de medida separados asimismo 500 m. Durante un periodo de dos años, se hicieron mediciones del ruido producido por el sobrevuelo de las aeronaves al pasar por la vertical de los puntos de medida, determinando mediante un procedimiento fotográfico la distancia de la aeronave al micrófono correspondiente.

Con los datos obtenidos se aplicó el procedimiento de cálculo del **nivel efectivo de ruido percibido**,  $L_{EPN}$ , a través de la determinación del **noy** de cada vuelo, la corrección por tonos (cálculo del  $L_{PNT}$ ), y la corrección por duración del evento. Por ultimo se calcularon las isófonas **NNI** (índice de ruido y número de operaciones) y **NEF** (predicción de exposición al ruido) para el entorno del Aeropuerto.

Mediante un contrato con el organismo Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA) se ha llevado a cabo un estudio sobre los niveles acústicos originados por el sobrevuelo de aeronaves para el cálculo de aislamiento acústico de fachadas en el entorno del Aeropuerto de Barajas.

El estudio consistió en una campaña de mediciones para recoger en cinta magnética los ruidos producidos por las operaciones de las aeronaves, un análisis en frecuencia en bandas de un tercio de octava en el margen de 63 a 12500 Hz, una determinación de la variación de los espectros en frecuencia en función de las distancias a las trayectorias de despegue y aterrizaje, agrupando dichos espectros en espectros tipo, una comprobación de la validez de un único espectro tipo para las isófonas de 55 dBA a 85 dBA, en intervalos de 2 dBA.

Durante diez días de mediciones se registraron 938 operaciones de despegue y aterrizaje de distintos tipos de aeronaves en seis puestos de medición, obteniéndose 2749 registros de sobrevuelo con condiciones adecuadas de relación señal/ruido de fondo ( $> 15$  dBA). Mediante los correspondientes análisis en frecuencia de las grabaciones en cinta magnética realizadas, se calcularon los espectros medios normalizados de las operaciones de despegue y aterrizaje, así como los correspondientes a 25 tipos de aeronaves que operan en el aeropuerto.

Dentro del mismo contrato con AENA, se han llevado a cabo en el año 1999 mediciones de ruido de aeronaves en el

entorno del aeropuerto de Barajas con objeto de verificar la conformidad de las isófonas calculadas por AENA mediante su sistema SIRMA con las obtenidas a base de medidas reales. Este estudio se llevó a cabo durante el mes de febrero de dicho año, midiéndose durante el día, de 10 a 18 horas, y durante tres días a lo largo de 24 horas.

Asimismo, se llevó a cabo un estudio de los niveles sonoros nocturnos en una urbanización cercana a las instalaciones del aeropuerto, y un estudio de la eficacia de barreras acústicas para la protección de dicha urbanización frente a los ruidos generados por la plataforma de estacionamiento de aeronaves.

### Ruido de ferrocarriles

En el estudio de ruido de ferrocarriles se ha trabajado con RENFE, asimismo mediante un convenio de colaboración, con la determinación de niveles sonoros emitidos por trenes de cercanías en el entorno de Madrid, un estudio de una barrera acústica para proteger un grupo de viviendas en las cercanías de una vía férrea y un estudio del ambiente acústico en el entorno de la Estación de Atocha de Madrid.

Para la empresa TALGO se han llevado a cabo estudios sobre niveles sonoros en el interior de coches del Talgo Pendular y vibraciones de los bogies.