



## TÉCNICAS ESTADÍSTICAS Y SEPARACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL

PACS: 43.50.Rq

Simón, Francisco; Pfretzschner, Jaime; Santiago, Salvador  
Instituto de Acústica – CSIC  
Serrano, 144  
28006 Madrid. España  
Tel: 34 915 618 806  
Fax: 34 914 117 651

### ABSTRACT

In this work the noise pollution produced by an airport in its surroundings is studied, when other noise sources, with analogous temporal and spectral characteristics, is present. A statistical analysis of level distributions allows breaking down the environmental noise into its constituent noise sources. This procedure works well for simple cases as the studied carried out here. Nevertheless, it is so restrictive that its use, for the moment, cannot be extended to more general problems.

### RESUMEN

Se estudia el impacto acústico producido por un aeropuerto en presencia de otras fuentes de ruido con características análogas, tanto temporales como espectrales. Para ello se realiza un análisis basado en la distribución de niveles de ruido ambiente, desglosándolo en las distribuciones de los ruidos componentes. El procedimiento es aplicable para casos sencillos como el estudiado, sin embargo sus limitaciones son suficientemente restrictivas para que, de momento, no sea generalizable.

### INTRODUCCIÓN

En el estudio de impacto acústico o de contaminación por ruido ambiente se necesita en primer lugar identificar las fuentes que producen dicho ruido para el esclarecimiento de responsabilidades. Los métodos normalmente utilizados parten del estudio de intervalos temporales con fuentes bien definidas, del estudio espectral de fuentes, o de la correlación entre ruidos de distinta naturaleza. Cada uno es adecuado para casos distintos; por ejemplo, el estudio temporal del ruido es ideal para situaciones en el que los eventos estén limitados en el tiempo y además no se solapen unos con otros. Si las fuentes que contribuyen al ruido total tienen espectros bien definidos y no solapados, el uso de técnicas de filtrado resulta muy eficaz. Las técnicas de correlación son útiles para casos en los que se tiene una muestra de la fuente a identificar y el resto del ruido se puede considerar blanco, o al menos posee una distribución de niveles simétrica. En casos en los que no se dan estas circunstancias la identificación del ruido proveniente de una fuente determinada se vuelve realmente complicada. En este trabajo se aborda este último objetivo mediante la consideración de las estadísticas de nivel que poseen cada uno de los ruidos componentes del ruido ambiente causante del

problema. Aunque este método tampoco es universal se mostrará como, bajo ciertas circunstancias puede ser útil para la determinación del impacto acústico de fuentes de ruido y para la separación de sus niveles del resto de ellas.

## **JUSTIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

Los niveles de presión sonora producidos por las fuentes generadoras de ruido ambiente varían en torno a unos valores medios que suelen ser constantes durante periodos de tiempo bien definidos y que generalmente dependen de sus condiciones de uso o de hábitos y comportamiento sociales. Dentro de estos intervalos, en los que los niveles de presión sonora son estables, las variaciones de nivel se suelen ajustar a unas distribuciones estadísticas bien definidas. De esta forma cada fuente de ruido se puede definir a través de la distribución estadística que la representa. Por otro lado, como los niveles de cada fuente están variando continuamente (según la distribución referida anteriormente) en cada momento el nivel medido puede corresponder sólo a la fuente que en ese momento emita ruido con mayor intensidad, es decir a la que en ese momento sea la dominante [1]. Por ejemplo imaginémosnos una situación en la que existe ruido procedente de una vía de tráfico cercana a unas viviendas de las que sus propietarios salen en coche y en las que algunos vecinos poseen perros; en este ejemplo, si el periodo entre medidas es suficientemente corto y continuo, en cada instante el valor medido podría ser achacado a cada una de las fuentes de ruido; es decir unas veces será debido a los ladridos de los perros, otras a la salida de vehículos de las viviendas, cuyo ruido se sobrepondrá al del tráfico, el cual, aunque constante, también tendrá sus altibajos, e incluso algunas veces se deberá al paso de vehículos ligeros y otras a vehículos pesados. Este ejemplo nos lleva a establecer un parámetro importante para este tipo de análisis: el tiempo de medida. Si es demasiado grande con respecto a los intervalos característicos de algunos de los eventos que se quieren caracterizar éstos quedarán ocultos junto a los niveles de otras fuentes. Por otro lado cuanto más pequeño sea el tiempo de medida más fuentes aparecerán aisladas en el conjunto de niveles de forma que se puede dar el caso de que alguna de ellas quede descompuesta en varias subfuentes, impidiendo de esta manera su identificación. En resumen, las hipótesis de trabajo son:

1. El ruido ambiente se puede descomponer en distintas fuentes.
2. Cada fuente tiene una distribución de niveles que le caracteriza.
3. Se conoce exactamente el número de fuentes de ruido que intervienen en el problema.
4. En una situación normal, existe un tiempo de medida tal que cada nivel medido puede ser asignado a una fuente particular.

## **DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS FUENTES**

A continuación se aplicarán los principios descritos anteriormente a un problema de ruido generado por el aeropuerto de Barajas (Madrid). Esta instalación aeroportuaria se encuentra rodeado de barrios residenciales en una parte de su perímetro. De estos, el que nos ocupa se encuentra junto a una plataforma en la que se producen gran cantidad de operaciones de tierra como aparcamiento de aeronaves, calentamiento y recarga de sistemas de alimentación eléctrica, etc. El barrio se encuentra separado del aeropuerto por una vía de acceso rápido que conecta con el acceso principal del aeropuerto. De esta forma el ruido que reciben las viviendas del barrio proviene fundamentalmente de la actividad del aeropuerto en la zona de la plataforma así como de las vías rápidas de acceso al citado aeropuerto que discurren frente a sus fachadas.

Estas dos fuentes de ruido tienen características muy similares, los niveles de presión sonora son análogos, los espectros en ambos casos son de banda ancha con un gran número de componentes en bajas frecuencias, y ambos son ruidos continuos, aunque con altibajos que no son apenas controlables. En estas condiciones se realizaron medidas simultáneas de nivel de presión sonora tanto en la plataforma de operaciones dentro del aeropuerto como sobre la terraza de uno de los edificios implicados situado frente a la mencionada plataforma. La posición retranqueada del micrófono respecto del borde de la terraza presenta la ventaja de ser apantallada por la difracción en esquina de ésta, respecto de la fuente más próxima, es decir

de la vía de tráfico rodado. Las medidas se realizaron en dos días distintos, y durante el segundo se utilizaron dos posiciones de micrófono en la terraza del edificio, la primera sobre la misma utilizada durante el día anterior, y otra con el micrófono volado sobre la fachada, de forma que recogía de forma directa el nivel de presión sonora que producía el tráfico. Entre ambas fechas las condiciones de uso de la plataforma habían cambiado, por lo que se espera que los resultados de ambas difieran.

## REGISTRO DE LOS NIVELES DE RUIDO

Los registros de nivel de presión sonora aquí presentados se realizaron durante los días 8/7/2002 y 23/7/2002 y consistieron en 2 horas de grabación en horario nocturno. En la grabación se utilizaron micrófonos de campo libre conectados a un registrador DAT donde la señal era almacenada para su análisis posterior. Antes y después de cada medida se ajustó el sistema mediante un calibrador acústico conectado a los micrófonos de medida. Las horas de medida son las mismas en ambos casos, ya que se pretende que la comparación entre ambas ofrezca información sobre el uso de la plataforma y su repercusión acústica.

## PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Una vez realizadas las grabaciones, éstas fueron digitalizadas para su análisis en PC. De cada grabación se obtuvo el nivel de presión sonora, ponderado A y sin ponderar, y los niveles por tercios de octava entre las bandas de 100 Hz y 5000 Hz. Los niveles fueron calculados a intervalos de 1 s, tiempo suficientemente grande para que en él se encuentren representadas todas las frecuencias involucradas en el análisis. Una vez obtenidos estos NPS de un segundo se calculó la distribución de niveles, que ofrece gráficas en forma de campana más o menos simétricas, como es habitual en este tipo de representación. Una vez calculadas las distribuciones de nivel, se ajustaron, por mínimos cuadrados a dos distribuciones gaussianas. En un caso se hizo el ajuste a tres distribuciones ya que la gráfica parecía indicar que existía una tercera componente en el ruido. Se sabe que las distribuciones que caracterizan al ruido de tráfico, y en general al ruido ambiente poseen sesgo, por lo que no son totalmente gaussianas [2], pero como primera aproximación se probó con este tipo y a la vista de los resultados ( $R^2$  nunca fue inferior a 0.99) se decidió continuar con esta hipótesis. El mismo análisis se hizo para cada tercio de octava. Como resultado se obtuvo una pareja de medias y desviaciones estándar para cada medida que debían ser identificadas con cada una de las fuentes presentes (tráfico y maniobras en la plataforma). Para dicha identificación se utilizaron los espectros que se obtuvieron del análisis, mediante comparación con el espectro del tráfico, el que no encajaba fue asignado al ruido de plataforma.

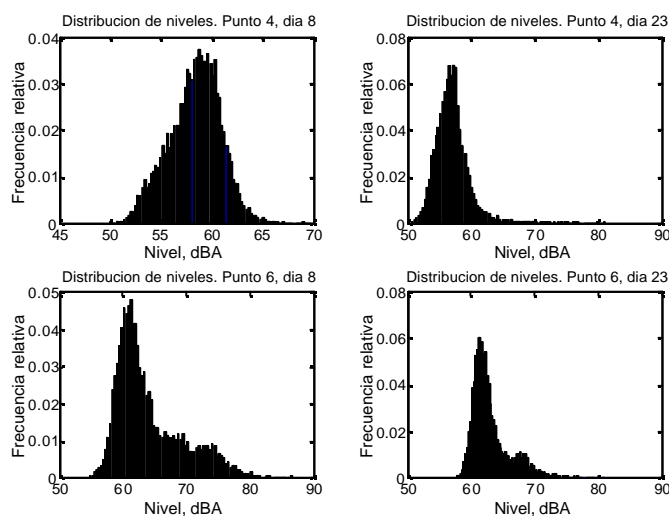


Figura 1. Distribuciones de nivel de presión sonora ponderado A para cada una de las posiciones y días señalados

## RESULTADOS

La figura 1 muestra las distribuciones de nivel obtenidas para cada uno de los puntos de medida y en cada uno de los días de medida. El punto 4 estaba situado en el interior del recinto del aeropuerto y el punto 6 en la terraza del bloque de viviendas. En todos los gráficos se aprecia la existencia de un pico dominante sobre otro más pequeño cuya superposición genera un sesgo sobre la primera. Los resultados del ajuste para las distribuciones de nivel ponderados A se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores medios, desviaciones estándar y amplitudes relativas de las distribuciones de nivel ajustadas a las medidas

Posición	Día de medida	Media	Desviación estándar	Amplitud relativa
4	08	a: 57.6 b: 59.6	2.8 1.5	1573 802
	23	a: 62.7 b: 56.6	1.8 2	128 2595
4 exterior	23	a: 65.7 b: 64.3	0.7 2.2	166 2277
6	08	a: 68.2 b: 60.9	5.8 1.9	1584 1988
	23	a: 65.9 b: 61.5	3.2 1.3	668 1436

El problema ahora consiste en determinar qué distribución corresponde a cada una de las fuentes de ruido. Para ello se utiliza el espectro obtenido a partir de los máximos de cada una de las distribuciones calculadas para cada frecuencia. Como se puede ver en la figura 1, la población de cada una de las fuentes es muy diferente, por tanto en los espectros también habrá una población más grande que la otra y, por ello el espectro que proporcione todos los máximos deberá pertenecer a la distribución dominante. Estos espectros se muestran en la figura 2.

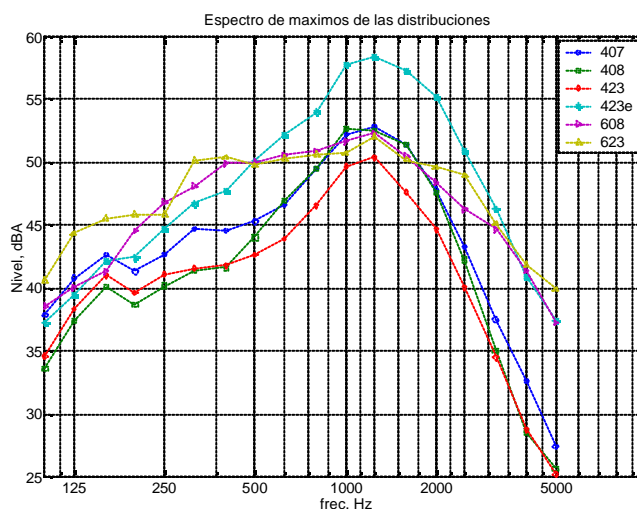


Figura 2. Espectro de máximos de las distribuciones de las medidas indicadas. El primer dígito indica el punto de medida (4 vivienda, 6 plataforma), los dos siguientes el día de medida, y la letra e que el micrófono se situó frente a la fachada del edificio)

El mayor de ellos, con etiqueta 423e, está medido frente a la fachada en donde recibe de forma directa el ruido producido por el tráfico. Una vez identificado este espectro como el del tráfico presente se deduce que en las medidas 407, 408 y 423 el ruido dominante es el de tráfico mientras que en las medidas 608 y 623 domina el ruido de la plataforma. En consecuencia, en todas las medidas la distribución que pertenece al ruido de tráfico es la b (ver Tabla 1).

Una vez averiguada cual es la distribución de la fuente que nos interesa (el ruido producido por la plataforma), se debe estimar el nivel de presión sonora equivalente que le pertenece. Los valores medios que aparecen en la tabla 1 son los correspondientes a los  $L_{Aeq,1s}$ , nosotros perseguimos el  $L_{Aeq,2hr}$ . Para su cálculo se debe utilizar la expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0.1 L_{Aeq,T_m}(n)} \right) \quad (1)$$

que particularizada para el caso en que las medidas se expresan en forma de distribución de niveles se tiene [3]:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{\sum_{m=1}^M D(m) 10^{0.1 L_{Aeq,T_m}(m)}}{\sum_{m=1}^M D(m)} \right) \quad (2)$$

donde  $D(m)$  es la distribución que representa a los niveles medidos. En nuestro caso se tienen tres distribuciones diferentes por medida.  $D_t(m)$  representa la distribución total de los niveles medida,  $D_a(m)$  representa la distribución de niveles de ruido identificados como pertenecientes a la plataforma, y  $D_b(m)$  que es la distribución generada por el ruido de tráfico. Si se introduce cualquiera de estas funciones en la eq. (2) se obtendrá el nivel equivalente para el tiempo que dicha distribución representa, que en cada caso será:

$$T_d = T_m \sum_{m=1}^M D_d(m) \quad d = t, a, b \quad (3)$$

donde  $T_m$  es el tiempo de integración de los niveles que componen la distribución, 1 s en nuestro caso. El problema es que nosotros necesitamos saber el nivel equivalente de la distribución a referido al tiempo dado por la distribución t. Si sólo existiera una única distribución ambos coincidirían; al no ser así la expresión que se debe utilizar es:

$$L_{Aeq,T_t} = 10 \lg \left( \frac{\sum_{m=1}^M D_a(m) 10^{0.1 L_{Aeq,T_m}(m)}}{\sum_{m=1}^M D_t(m)} \right) \quad (4)$$

es decir, se promedian exclusivamente los niveles generados por la plataforma aeroportuaria durante todo el intervalo de medida. En la tabla 2 se muestran los resultados de todo este proceso tanto para el ruido de tráfico como para el ruido de la plataforma del aeropuerto. En ella se aprecia como el día 8 el nivel del aeropuerto medido en las viviendas es ligeramente alto e incluso superior al del tráfico, mientras que el día 23 la situación ha cambiado; el nivel producido el aeropuerto ha disminuido apreciablemente a la vez que el de tráfico permanece prácticamente constante. La situación en el aeropuerto es parecida, aquí el ruido de tráfico permanece casi constante, domina siempre el ruido de la plataforma, a pesar de que su nivel se haya reducido en unos 6 dBA.

Tabal 2. Niveles de ruido estimados de cada fuente ponderados para 2 horas

Posición	Día de medida	Ruido de tráfico	Ruido aeropuerto
4	08	55.1	56.7
4	23	56.8	49.8
4 exterior	23	64.6	54.1
6	08	58.8	68.4
6	23	60.0	62.2

A pesar de estos resultados es lógico que el aeropuerto siga generando molestias, los niveles que produce en las viviendas son, en general, superiores a los producidos por el tráfico. Sin embargo el número de eventos que produce es bastante inferior al producido por el tráfico, de modo que al estimar el valor promedio de uno de ellos teniendo en cuenta la existencia del otro, hace que su nivel equivalente se reduzca lo suficiente como para que quede por debajo de aquel, cumpliendo de este modo con los requisitos legales.

## **CONCLUSIONES**

A lo largo de este trabajo se ha mostrado como el análisis estadístico de niveles de ruido puede ser una herramienta eficaz para la resolución de problemas ambientales cuando no existe otra herramienta apropiada. También se han indicado las restricciones y limitaciones derivadas, sobre todo de la necesidad de conocer con absoluta certeza todas las fuentes involucradas, su naturaleza y algún dato más que permita su identificación entre las distribuciones en las que se descompone el problema. Una vez que todas estas condiciones se cumplen, el presente procedimiento es capaz de desglosar el ruido ambiente global en cada una de sus componentes y, a partir de ellas calcular los índices necesarios para la verificación del cumplimiento de las normas medioambientales que apliquen en cada caso.

Desde el punto de vista práctico se ha mostrado como los niveles de ruido que produce la actividad desarrollada en la plataforma del aeropuerto cumple con la normativa legal después de haber modificado y reducido su actividad en la misma, comprobándose como los niveles de ruido después de la modificación han disminuido considerablemente. Además se puede señalar que este cumplimiento normativo se debe fundamentalmente a la presencia del ruido de tráfico, que hace, desde el punto de vista temporal, que el ruido del aeropuerto no sea demasiado significativo. Si el flujo de tráfico se redujera, su población de niveles también se reduciría, por lo que la población de niveles producidos por el aeropuerto aumentaría, sería estadísticamente más significativa, el valor de su nivel representativo aumentaría y correría el riesgo de no cumplir con la legislación vigente.

## **REFERENCIAS**

[1] Hodgson, M., Rempel, R., Kennedy, S. Measurement and prediction of typical speech and background noise levels in university classrooms during lectures. *J. Acous. Soc. Am.* 105(1), pp. 226–233, 1999

[2] García, A., Faus, L. J. Statistical analysis of noise levels in urban areas, *Applied Acoustics*, 34, pp. 227–247, 1991

[3] Martinez, W. L., Martinez, A. R. *Computational Statistics Handbook with Matlab*, Chapman & may/CRC, 2002.