

## INFLUENCIA DEL ORDEN Y PROFUNDIDAD DE REFLEXIÓN EN LA FIABILIDAD DEL MAPEADO ACÚSTICO

PACS: 43.58.Ta

Miguel Arana; David Pérez; Iñaki Nagore; Ricardo San Martin  
Universidad Pública de Navarra.  
Dpto. de Física. Laboratorio de Acústica.  
Campus de Arrosadía. 31006. Pamplona. Spain  
Tel: +(34)948169568  
Fax: +(34)948169565  
marana@unavarra.es

### ABSTRACT

The European Directive 2002/49/EC states in generic terms issues for the elaboration of acoustic maps: indices, models, result outputs, etc. Nevertheless-as it is obvious, it does not precise all the calculation details which have to be into account. The working group for the assessment of exposure to noise (WG-AEN) recommended that-both for façade exposure and for noise mapping- first order reflection from other building and reflecting objects should be included. As reflection order increases, calculation time needed by some commercial software geometrically increases. At the present work the error in the prediction of noise levels versus reflection order as well as time needed for calculation it is showed in statistical terms.

### RESUMEN

La Directiva Europea 2002/49/EC establece con precisión los aspectos generales para la elaboración de los mapas acústicos: índices, modelos, presentación de resultados, etc. No obstante (como es obvio) no precisa todos los detalles de cálculo que se deben contemplar. Para ello, el grupo de trabajo para la evaluación de la exposición al ruido (WG-AEN) recomendó que, tanto para la asignación de niveles de ruido a los edificios como para el mapeado acústico, se incluya el primer orden de reflexión del resto de edificios y objetos reflectantes. Conforme el orden de reflexión se incrementa, el tiempo de cálculo de algunos programas comerciales crece geométricamente. En el presente trabajo se muestra, en forma estadística, el error cometido en función del orden de reflexión, así como el incremento de tiempo de cálculo que el incremento del orden de reflexión involucra.

**ISO 9613-2**

La norma de referencia para calcular la atenuación del sonido en su propagación en campo abierto es la ISO 9613-2 [1]. Las reflexiones son consideradas en términos de fuente imagen. Se consideran las reflexiones provenientes de techos y superficies más o menos inclinadas (tal como las fachadas de los edificios, las cuales pueden incrementar los niveles sonoros en el receptor. No se incluyen las reflexiones provenientes del terreno, las cuales se incluyen en el apartado de efectos del terreno. Las reflexiones de un obstáculo se calculan para todas las bandas de octava para las que se cumplen los siguientes requisitos:

- Se puede construir la reflexión especular, tal como muestra la figura 1.
- El coeficiente de reflexión de la superficie es mayor de 0,2.
- Las dimensiones de la superficie son suficientes para que la longitud de onda de la frecuencia central de la banda de octava considerada cumpla la relación:

$$(1/\lambda) > [2/(l_{\min} \cos \beta)^2] \cdot [d_{s,o} d_{o,r} / (d_{s,o} + d_{o,r})]$$

donde:

- $\lambda$  es la longitud de onda del sonido (en metros) para la frecuencia nominal de la banda de octava (en Hz)
- $d_{s,o}$  es la distancia entre la fuente y el punto de reflexión del obstáculo
- $d_{o,r}$  es la distancia entre el punto de reflexión sobre el obstáculo y el receptor
- $\beta$  es el ángulo de incidencia, en radianes
- $l_{\min}$  es la mínima dimensión (largo o alto) de la superficie reflectante

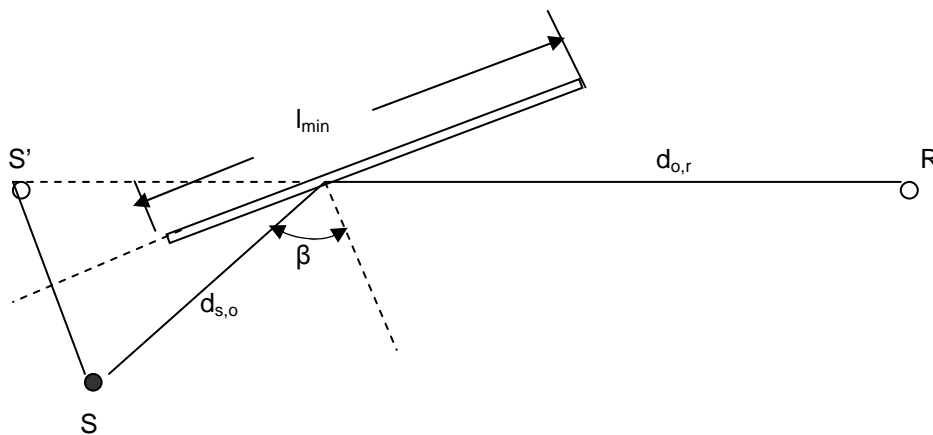


Fig. 1 Reflexión especular por un obstáculo

Si no se cumple alguna cualquiera de las condiciones para la banda de octava considerada, entonces la reflexión será obviada. Tanto la fuente real como la fuente imagen se tratan por separado. El nivel de potencia de la fuente imagen,  $L_{W,im}$  se calcula como:

$$L_{W,im} = L_W + 10 \lg(\rho) + D_{Ir} \text{ (dB)}$$

donde:

- $\rho$  es el coeficiente de reflexión sonora de la superficie para el ángulo de incidencia  $\beta$  ( $\geq 0,2$ )
- $D_{Ir}$  es el índice de directividad de la fuente en la dirección del receptor imagen

Son múltiples las operaciones básicas que requiere un algoritmo de reflexión. Obviando, por ahora, la cuestión del tiempo de cálculo, los principales problemas que plantea su

implementación son la falta de datos sobre la dependencia del coeficiente de reflexión con el ángulo de incidencia (variable no considerada en los programas más utilizados) y la falta de datos sobre la directividad de las fuentes acústicas, como es usual introducir en los programas de modelización acústica de locales.

El grupo de trabajo para la evaluación de la exposición al ruido (WG-AEN [2]) recomendó, apartado 2.43, que, al menos, el primer orden de reflexión (procedente de otras fachadas u objetos reflectantes) fuera incluido en la evaluación de ruido en fachadas. Para el mapeado acústico (grid) se deben incluir al menos todos los primeros órdenes de reflexión.

### PROGRAMACIÓN DEL ALGORITMO DE REFLEXIÓN

Previo al algoritmo de reflexión, es fundamental programar un algoritmo de visibilidad, algoritmo que no todos los programas utilizan correctamente. Dado que la discretización de las fuentes lineales en fuentes puntuales (bien mediante factor *raster*, bien mediante *paso angular* [3]) es un paso previo al de reflexión, es posible que la ubicación de tales fuentes discretas no les ofrezca visibilidad del receptor. Tal error no solo implicaría el obviar una reflexión sino, incluso, el rayo directo.

Para las reflexiones de primer orden, el cálculo se suele llevar a cabo en tres pasos, para cada objeto reflectante y cada relación fuente-receptor.

- 1.- Construcción de la posición de fuentes imagen.
- 2.- Seccionamiento de la línea emisor-receptor para determinar el punto de intersección.
- 3.- Cálculo de la aportación al nivel sonoro en base al coeficiente de absorción del objeto.

Para reflexiones de orden superior, todas las fuentes imagen válidas han de ser reflejadas de nuevo en todos los objetos reflectantes existentes a fin de probar la validez de cada reflexión y calcular las correspondientes trayectorias de cada rayo. La figura 2 muestra un ejemplo de orden de reflexión 1, 2 y 3.

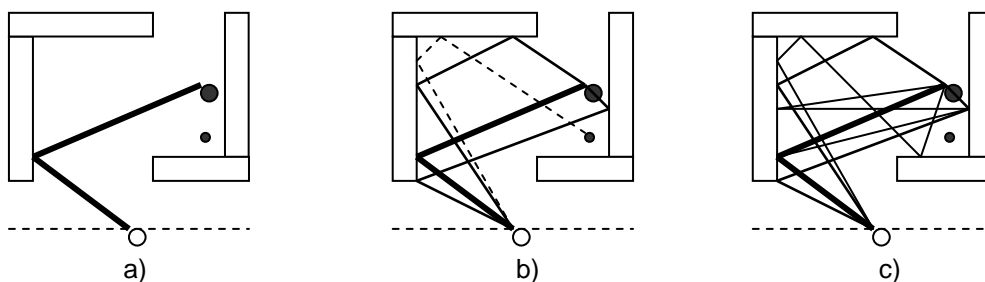


Fig. 2 Órdenes de reflexión 1 (a), 2 (b) y 3 (c) (líneas gruesa, intermedia y fina, respectivamente)

Es claro que el número de posibles reflexiones se incrementa considerablemente (generalmente, de forma exponencial) conforme se incrementa el orden de reflexión. Debido al enorme incremento en el tiempo de cálculo, es usual recomendar únicamente el primer orden de reflexión para la elaboración de mapas acústicos. Sin embargo, puede suceder que los receptores no sean visibles ni por el rayo directo ni por la reflexión de orden 1 (segundo

receptor mostrado en la figura 2.a) mientras que esto no ocurre con orden de reflexión 2 (línea discontinua en la figura 2.b) con lo que el error, para tales situaciones puede ser considerable.

## CASO PRÁCTICO

A fin de llevar a cabo un estudio comparativo sobre la influencia del orden de reflexión en la precisión de los cálculos de los niveles sonoros en el mapeado acústico, elegimos una trama urbana localizada en Pamplona (barrio de Iturrama). El área de cálculo ( $149.600 \text{ m}^2$ ) es, aproximadamente, una cuarta parte de dicho barrio. La figura 3 muestra el área de estudio. El modelo digital del terreno es muy simple y en la zona de estudio se encuentran 30 edificios. Todas las líneas rojas de la figura son fuentes lineales de tráfico rodado. Los edificios tienen altura de entre 22 y 55 metros y en la zona de estudio viven un total de 5.695 personas. El número de puntos del grid es de 1.148. Se ha utilizado la misma zona de estudio en la que se han realizado análisis similares para ruido de fachadas [4].



Fig. 3 Localización del área de estudio (barrio de Iturrama, en Pamplona)

Se ha realizado el mapa acústico de la zona con dos diferentes software (CadnaA v. 3.7.123 [5] y Sound PLAN v. 6.5 [6]) y con diferentes órdenes de reflexión, concretamente, órdenes 1, 2 y 3. Otros trabajos han analizado comparativas para otras variables de cálculo [7].

## RESULTADOS

Las figuras 4 y 5 muestran los histogramas y la distribución acumulada de las diferencias de niveles con órdenes de reflexión 1, 2 y 3 para ambos programas. Asumiendo como *exactos* los valores obtenidos con orden de reflexión 3, un 9% de los puntos infravaloran los niveles sonoros en 3 o más dB (con diferencia máxima de 6,2 dB) cuando se toma un orden de reflexión 1 (CadnaA). Este valor es de un 3,5% (con diferencia máxima de 5,9 dB) para el otro programa (SoudPLAN). El *error* producido cuando se toma orden de reflexión 2 es notablemente inferior. Concretamente, un 9% de los puntos infravaloran los niveles sonoros en 1 o más dB (con diferencia máxima de 2,4 dB) cuando se toma un orden de reflexión 2 (CadnaA). Este valor es de un 3,2% (con diferencia máxima de 2,1 dB) para el otro programa (SoudPLAN).

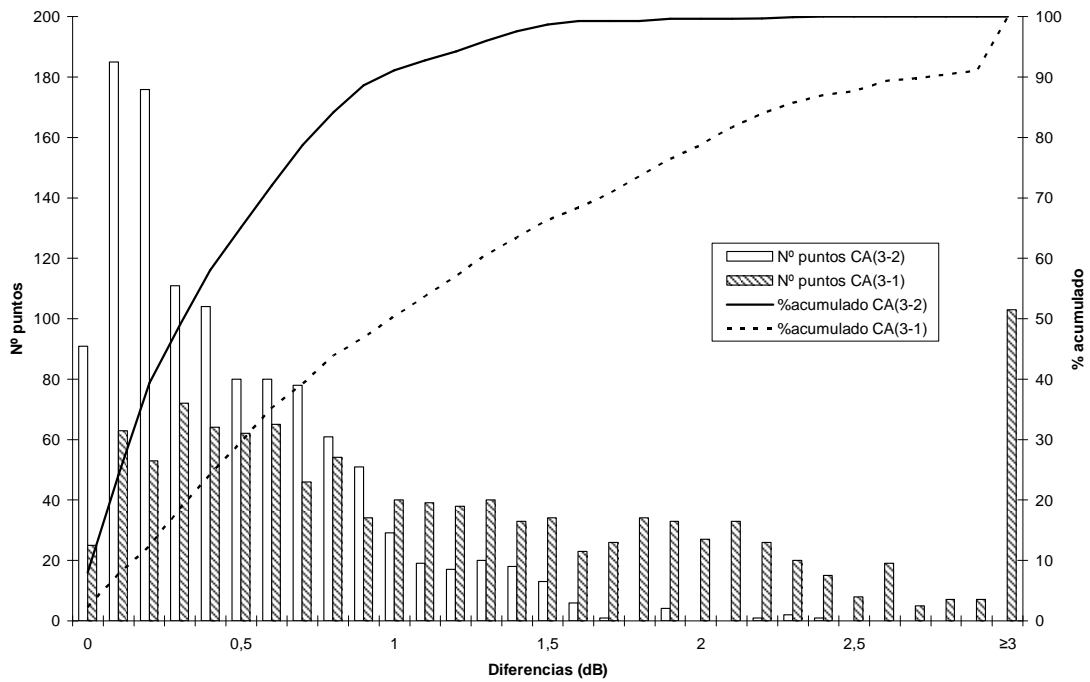


Fig. 4 Histograma y distribución acumulada de las diferencias entre orden de reflexión 3 y 1 y 3 y 2 (CadnaA)

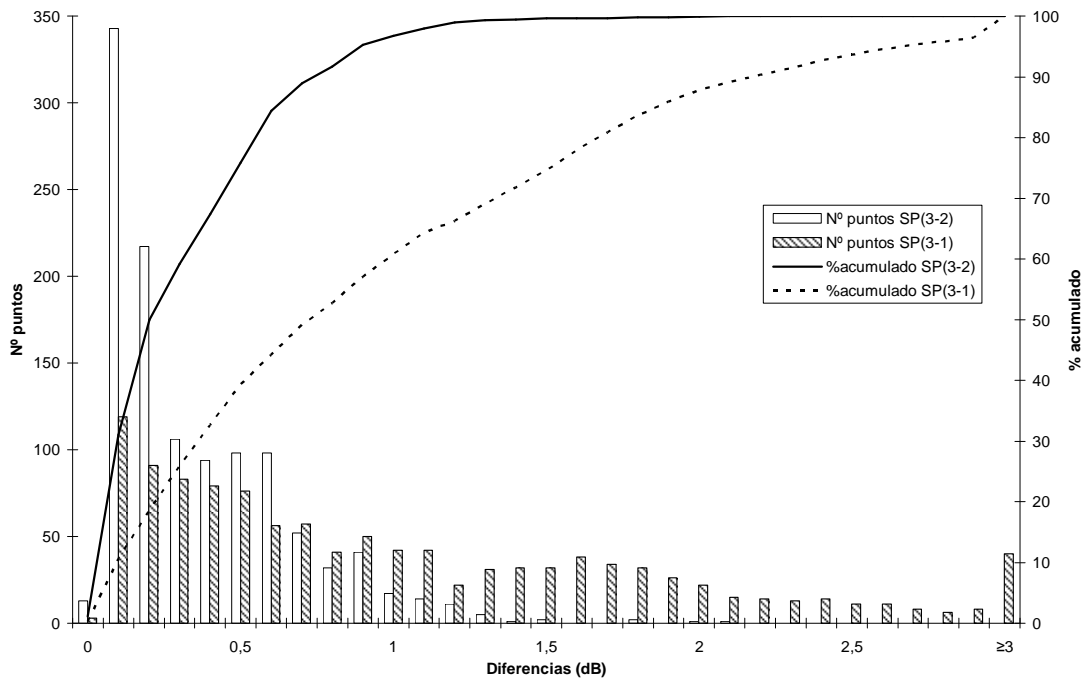


Fig. 5 Histograma y distribución acumulada de las diferencias entre orden de reflexión 3 y 1 y 3 y 2 (SoundPLAN)

Por otra parte, los tiempos de cálculo se incrementan notablemente con el orden de reflexión, como cabía esperar. No obstante uno de los programas (SoundPLAN) es mucho más eficiente que el otro (CadnaA). La Tabla 1 muestra los tiempos de cálculo (PC con 2 Gb de RAM).

Tabla 1. Comparativa de tiempos de cálculo para diferentes órdenes de reflexión.

|           | Orden 0 |    |    | Orden 1 |    |    | Orden 2 |    |    | Orden 3 |    |    |
|-----------|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|
|           | hh      | mm | ss | hh      | mm | ss | hh      | mm | ss | hh      | mm | ss |
| CadnaA    | 2       | 14 | 8  | 10      | 14 | 18 | 110     | 34 | 28 | 1064    | 24 | 52 |
| SoundPLAN | 0       | 25 | 10 | 2       | 54 | 24 | 7       | 25 | 19 | 18      | 28 | 21 |

## CONCLUSIONES

Los programas comerciales considerados en el presente estudio implementan con precisión (para los casos testeados por nosotros con cálculos teóricos en el presente trabajo) el estándar de referencia para el cálculo de la reflexión (ISO 9613-2)

Tomando como resultado exacto el orden de reflexión 3, la evaluación con orden de reflexión 1 (mínimo requerido por las recomendaciones del WG-AEN y el usual para mapeados de grandes áreas urbanas) infravalora los niveles sonoros (para áreas urbanas típicas) en 3 o más dB para un 9% de los puntos (CadnaA) y para un 3,5% (SoundPLAN).

Los tiempos de cálculo se incrementan notablemente con el orden de reflexión. No obstante uno de los programas (SoundPLAN) es mucho más eficiente que el otro (CadnaA). Los tiempos de cálculo de este último (para la trama urbana del ejemplo aquí estudiado) multiplican por 3,5 (orden de reflexión 1), 15 (orden de reflexión 2) y 58 (orden de reflexión 3) los requeridos por SoundPLAN.

- [1] ISO 9613-2 Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: General method of calculation (1996)
- [2] European Commission Working Group. Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN). Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. Position Paper. Version 2. 13<sup>th</sup> Jan. 2006 (2006)
- [3] Arana, M.; Aramendia, E., *Comparison between raster factor and constant angular step in noise mapping*. 6<sup>th</sup> European Conference on Noise Control Euronoise 2006, Tampere, Finland (2006)
- [4] Miguel Arana; Ricardo San Martín; Iñaki Nagore; David Pérez, *Using noise mapping to evaluate percentage of people affected by noise*, Acta Acustica 95 (3) 550-554 (2009)
- [5] CadnaA, DataKustik, Instructions for use. (2008)
- [6] SoundPLAN, Wins–User’s Manual: Technical Acoustics in SoundPLAN. (2008).
- [7] Arana, M.; San Martín, R.; San Martín, M.L.; Aramendía, E., *Strategic noise map of a major road carried out with two environmental prediction software*, Environmental Monitoring and Assessment. DOI n. 10.1007/s10661-009-0853-5 (in press) (2009)