

UN METODO PREDICTIVO PARA EL CALCULO DE NIVELES SONOROS: TRAZADO INVERSO DE RAYOS

Claude Chapot(*), Yannick Gabillet(**), Diego Vieyra (*)

(*) 01dB España. c/ Canalejas nº 30 entresuelo 2º 0828 Barcelona

(**) C.S.T.B. 24, rue Joseph Fourier 38400 Saint Martin d'Hères (Francia)

1.- INTRODUCCION

La modelización de la propagación acústica en espacios exteriores, y en particular en zonas edificadas, debe tener en cuenta multitud de parámetros que la afectan, entre otros destacan la topografía, los edificios, barreras acústicas, tipo de suelo, condiciones atmosféricas, etc....

A través de intensas investigaciones, el C.S.T.B. ha desarrollado un algoritmo de cálculo que permite reducir estas dificultades y realizar un cálculo preciso en base a una serie de hipótesis. Dicho algoritmo, implementado en un completo programa de cálculo llamado MITHRA, analiza los trayectos posibles entre un punto receptor y multitud de posibles fuentes sonoras y aplica las correcciones debidas a difracciones, reflexiones en elementos verticales y/o combinaciones de ambos fenómenos. Al no estar limitado a ningún orden máximo de reflexión y de difracción, los algoritmos se adaptan perfectamente al cálculo preventivo del ruido de tráfico, tanto en entornos densamente edificados como rurales.

2.- LOS CAMINOS DE PROPAGACIÓN

El algoritmo de búsqueda de caminos acústicos de propagación entre fuente y receptor se basa en tres hipótesis elementales:

- Independientemente del entorno y el tipo de edificaciones existentes, la mayor parte de las superficies reflectantes son verticales.
- En ausencia de viento, el principio de reciprocidad es aplicable.
- Las fuentes de ruido se pueden descomponer en elementos lineales donde la potencia acústica de dichas fuentes está definida por unidad de longitud.

En la primera etapa de cálculo, se lanzan - N - rayos desde el receptor en todas las direcciones dentro de un plano horizontal. Cada rayo es el eje de un sector angular $d\phi$; la trayectoria de cada uno de estos rayos está definida por una sucesión de impactos o intersecciones entre la trayectoria del rayo y un segmento que parametriza el entorno. En este punto del proceso, todavía no se pueden diferenciar los caminos de propagación válidos de los que no lo son por lo que se deben tener en cuenta todas las posibilidades:

- 1ª - el rayo pasa por encima del obstáculo (con o sin difracción) .
- 2ª - el rayo impacta en un elemento vertical y sale reflejado especularmente.

Así, a partir del lanzamiento inicial de un rayo, se genera toda una arborescencia de caminos posibles que se repite cada vez que la trayectoria de este rayo se ve cortada por un elemento vertical. El final de este proceso repetitivo llega cuando el rayo sale de los límites físicos de la zona de estudio o cuando la distancia total recorrida por un rayo supera el máximo establecido.

En una segunda etapa de cálculo, se identifican los trayectos de propagación en un espacio de 3 dimensiones: a partir de las alturas definidas para cada uno de los diferentes elementos se verifica la intersección del rayo acústico.

Para terminar, el paso definitivo para cerrar el proceso definitivo de búsqueda de caminos acústicos, todos aquellos rayos que no interseccionan con ninguna fuente lineal de ruido son despreciados.

3.- CÁLCULO ACÚSTICO

3.1 Principio de cálculo

El cálculo acústico se efectúa para cada rayo lanzado desde el receptor y que corta (o intersecciona) con una fuente sonora lineal. Si el ángulo entre dos rayos consecutivos es suficientemente pequeño, se puede considerar que la topografía representada por los segmentos interseccionados por el rayo no variará dentro del cono. En estas condiciones, el problema se reduce a realizar una sección entre una fuente puntual y un receptor. A partir de este parámetro y de la potencia por unidad de longitud de la fuente, las atenuaciones debidas a divergencia geométrica, absorción del aire, difracción, efecto suelo y absorción de las superficies impactadas, se puede calcular el nivel sonoro provocado por una fuente lineal en un punto determinado.

3.2 Potencia acústica asociada a un rayo

La potencia dW del segmento de fuente lineal "visible" desde un punto receptor es

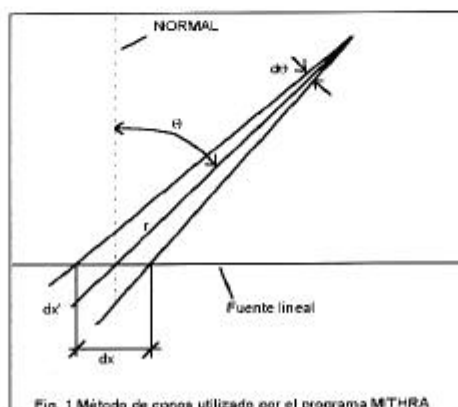
$$dW = W dx$$

la potencia acústica de la fuente lineal por unidad de longitud se calcula a partir de la fórmula

$$LW = LW_{vl} + 10 \log \left(\frac{N_v + N_v \cdot \%VP \cdot (EQ - 1) \cdot 0.01}{velocidad} \right) - 30$$

donde

- N_v - N° vehículos
- $\%VP$ - % de vehículos pesados.
- EQ - equivalencia vehículo ligero / vehículo pesado.
- LW_{vl} - Potencia acústica de un vehículo ligero



3.3 Divergencia geométrica

La presión sonora existente en campo libre a una distancia - d - de la fuente sonora es de

$$P = \frac{dW \cdot Dh}{4\pi d^2} \longrightarrow Lp = 10\log(dW \cdot Dh) - 10\log 4\pi^2 \text{ (en dB)}$$

donde dW es la potencia acústica de la fuente y Dh la directividad asociada.

3.4 Directividad de la fuente

Para aplicaciones de cálculo a ruido de tráfico se consideran las fuentes omnidireccionales por lo que el parámetro Dh es igual a 1.

3.5 Absorción atmosférica

La absorción del sonido en el aire es una función de la temperatura y la humedad relativa del aire. Para cuantificarlos, se utilizan unas tablas que dan la atenuación por metro en función de ambos parámetros.

3.6 Efecto Suelo

Para calcular los efectos del suelo sobre el nivel sonoro existente en un punto hay diversas alternativas en función del tipo de suelo.

3.6.1 Suelo plano

En ausencia de cualquier obstáculo, el nivel sonoro existente en un punto es la suma de el nivel directo más el nivel reflejado por el suelo.

3.6.2 Suelo no plano

En el caso de un suelo no plano se realiza la misma aproximación a partir del cálculo del "suelo plano equivalente"

3.7 Difracción

El cálculo de difracción se realiza a partir de la formulación desarrollada por Kurze - Anderson

En zona de sombra

$$\Delta = 20 \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh(\sqrt{2\pi N})} + 5$$

En zona de "visión directa"

$$\Delta = 20 \log \frac{\sqrt{2\pi |N|}}{\tanh(\sqrt{2\pi |N|})} + 5 \text{ para } N > -0.2$$

$$\Delta = 0 \text{ para } N < -0.2$$

donde

$$N = -\frac{2(A+B-d)}{\lambda} \text{ (ver figura 2)}$$

La fórmula de Kurze constituye una aproximación numérica del ábaco de Maekawa; comparada a formulaciones más exactas de la difracción, los resultados son más que aceptables teniendo en cuenta que se trata de pantallas simples. En el caso de que trabajemos con diedros, se tiene que aplicar una corrección (por pseudo - reflexiones en las paredes del diedro + efecto suelo) que minimice el error existente en esta fórmula.

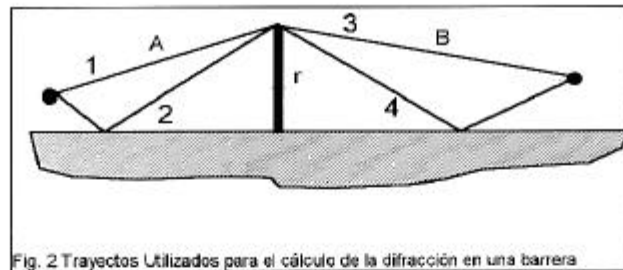


Fig. 2 Trayectos Utilizados para el cálculo de la difracción en una barrera

3.8 Reflexión en superficies verticales

3.8.1 Atenuación por absorción

La atenuación introducida por una pared cuyo coeficiente de absorción es α vale:

$$10 \log(1 - \alpha)$$

tomando los valores de absorción para cada banda de octava.

3.8.2 Atenuación por retrodifracción

En la búsqueda geométrica de los caminos, no es posible discernir las pequeñas superficies de las grandes superficies, o la reflexión sobre el borde de una acera (despreciable desde el punto de vista de cálculo), o la situación del punto de reflexión de un rayo respecto a las aristas de un muro.... Todas estas situaciones provocan que haya una tendencia a sobreestimar la energía reflejada en detrimento de la energía difractada por lo que el método de trazado inverso de rayos incorpora una rutina de retrodifracción que tiene en cuenta estos efectos y corrige las desviaciones introducidas.

4.- PROGRAMA MITHRA

La aplicación real y operativa de todos los procesos antes descritos se ha llevado a cabo en el programa de cálculo MITHRA, desarrollado por el C.S.T.B. (Centro Científico y Técnico de la Construcción) en Francia. Dicho programa se divide en tres módulos principales:

- Entrada de datos : digitalización del entorno, entrada de puntos receptores, trazado de las carreteras, barreras acústicas, muros de contención, tipo de tráfico (densidad, velocidad, ...), edificios y elementos verticales.
- Módulo de cálculo que permite realizar previsiones en receptores puntuales, mapas de ruido horizontales y verticales, agrupación aleatoria de puntos de recepción, cálculo de niveles en valor global A o por bandas de 1/1 octava.
- Edición de resultados: Trazado de los n trayectos posibles entre fuentes y receptor, aportación sonora de cada uno de los trayectos al nivel global en un punto (ideal para el diseño de barreras acústicas), presentación numérica (tablas) y gráfica (mapa de valores) de los valores espectrales y globales en los puntos de recepción, trazado de mapas de ruido en color y su impresión directa a plotter o impresora...

Diversos estudios y verificaciones realizadas en proyectos reales han demostrado que se pueden llegar a obtener márgenes de error del orden de 1dB, dato muy dependiente de la parametrización del entorno y el criterio de introducción de los datos iniciales.