

# TECNOLOGIAS AVANZADAS PARA EL CÁLCULO DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO A GRAN ESCALA

**Antonio Notario**

Jefe de Grupo CAE & Simulación,  
División Acústica, Vibraciones y Simulación  
Álava Ingenieros S.A.  
[anotario@alava-ing.es](mailto:anotario@alava-ing.es)

## **Resumen**

En la realización de los mapas estratégicos de ruido, la relación calidad – tiempo empleado es crítica con el fin de obtener un resultado preciso de la forma más eficiente. A este respecto las herramientas de software están en continuo desarrollo con el fin de adaptarse a las mejores tecnologías disponibles en todo momento y así mejorar el manejo y tiempo de cálculo de proyectos a gran escala.

El software CadnaA, de la forma Datakustik, implementa diversas técnicas que aprovecharán los futuros ordenadores aún por llegar.

## **Abstract**

The time needed for and the quality of noise maps depend a lot on the software tools applied. Regarding this, software tools are constantly evolving with the aim of improving the ease of use and reducing calculation times, in large scale noise mapping.

The techniques presented in this paper have been developed and are used with the software CadnaA.

## **1 Introducción**

La calidad final de los mapas de ruido y el tiempo invertido, dependen en gran medida de las herramientas de software empleadas. Si los cálculos de malla son aplicados a miles de km<sup>2</sup> utilizando un espaciado entre receptores de 10 m, se hace necesario evitar cualquier acceso manual mientras el cálculo está llevándose a cabo. En una gran cantidad de proyectos a gran escala, es posible adquirir experiencia suficiente para determinar procedimientos desarrollar nuevas técnicas que permitan facilitar el manejo y acelerar los cálculos. A continuación, se presentan algunas de ellas, que demuestran ser eficientes para alcanzar estos retos y que muestran lo importantes que son las estrategias de cálculo, además de los algoritmos de los programas de predicción.

Las técnicas que se presentan han sido desarrolladas y son empleadas en el software CadnaA.

## 2 Estrategias de cálculo

Es claro que sólo los paquetes de software comerciales son capaces de calcular niveles de ruido en detalle en el ámbito de problemas industriales con emisores complejos y de mapas de ruido a gran escala, incluso en aglomeraciones. Los métodos complejos que resuelven la ecuación de ondas o que simulan la propagación acústica mediante la discretización del medio de propagación no son considerados, ya que juegan un reducido papel en la práctica.

Las dos estrategias de cálculo más conocidas, trazado de rayos (TR) y escaneado angular (EA) son las empleadas.

**Trazado de rayos.** es la más comunmente implementada en los programas comerciales de cálculo disponibles. Las posibles trayectorias entre emisores y receptores, incluyendo rayos directos y rayos reflejados, son determinadas mediante búsqueda de las aportaciones de todas las fuentes en los receptores, o viceversa, y generados geoméricamente. Los objetos difractantes y otras influencias en la atenuación, son tenidos en cuenta mediante correcciones en la contribución del nivel de ruido calculado.

**Escaneado Angular.** En este caso, los 360 grados alrededor del punto receptor es dividido en sectores equiángulares (p.e. 100 sectores de  $3,6^\circ$  cada uno) y sólo se emplea un rayo situado en el eje de cada sector, que parte del receptor y termina en el emisor, para encontrar las fuentes de ruido relevantes. Generalmente los emisores puntuales dentro de cada sector son proyectados sobre el eje, mientras que las partes de las fuentes lineales, tales como carreteras, son asociadas a la intersección con el eje.

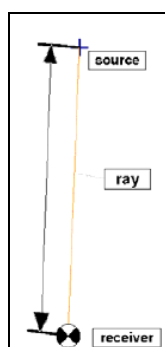


Figura 1 – Cálculo del nivel generado por una fuente puntual en un receptor mediante TR

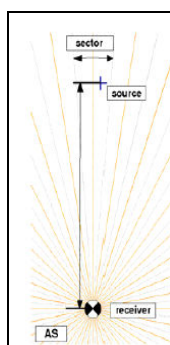


Figura 2 – Cálculo del nivel generado por una fuente puntual en un receptor mediante EA

De alguna manera, la filosofía del método de trazado de rayos es determinística, mientras que el escaneado angular tiene una base estadística.

**Búsqueda aleatoria.** Se trata de otro método de cálculo basado en técnicas de rayo. Las direcciones de los rayos (o partículas) lanzados desde cada emisor son distribuidas aleatoriamente, de forma que si algún rayo intercepta un volumen de control alrededor del receptor, es tenido en cuenta. El número de intercepciones para cada volumen es una medida de la energía acústica y la base para el cálculo del nivel sonoro. Mientras en los métodos TR y EA la distribución geométrica se incluye como corrección, en el método BA ésta se reemplaza por el número de intercepciones para cada receptor. Esta técnica tiene poca importancia relativa en la predicción de ruido ambiental.

### 3 Criterios de evaluación de los paquetes de software

#### 3.1 Facilidad de uso

La facilidad de uso es una propiedad que en muchas ocasiones está infravalorada. No se trata sólo de una característica recomendable, sino que representa una ayuda incuestionable en la tarea de evitar errores técnicos, al tiempo que permite ahorrar tiempo y dinero. La norma DIN 45687 trata este aspecto, de forma que un interfaz gráfico claro y bien estructurado, con diferentes vistas incluyendo presentaciones 3D, y con la presentación de los rayos de cálculo incluso en 3D tienen un elevado valor en la tarea de controlar un modelo y el cálculo del mismo.

Dentro de las características exigibles en un software, podemos citar:

- Interfaz gráfico con ventanas que puedan ser desplazadas y modificadas en tamaño (de forma que el proyecto siempre esté visible).
- Obtención directa de todas las características gráficas y vuelta al proyecto con un solo clic (de otro modo, el control de las entradas se hace demasiado elaborado y corre el peligro de realizarse de forma incorrecta).
- Presentación de los rayos de cálculo fácil y rápida, en los receptores seleccionados.
- “Programación ortogonal”, sobre todo aplicada al uso múltiple de varios escenarios modelizados. De este modo, la implementación de una nueva característica (p.e. un nuevo método de cálculo) no debe influenciar ninguno de los métodos previamente existentes. Debería ser incluso posible emplear el modelo geométrico incluyendo emisores calculados con varias normas de forma paralela. Si el ruido generado por un ferrocarril es calculado mediante el método holandés SRMII, debería ser posible recalcarlo con la norma NMPB-Fer sin la necesidad de introducir un nuevo emisor. Esto proporciona al usuario la posibilidad de comparar resultados en modelos completos de ciudades enteras, realizando las menores tareas de adaptación posibles.

### 3.2 Estrategias de cálculo y simulación

El cálculo mediante las trayectorias de los rayos entre emisores y receptores es una aproximación al mundo real, donde un campo de onda se propaga a través del entorno que existe entre ellos. Por tanto, es necesario aplicar correctamente una serie de estrategias con el fin de obtener resultados fiables.

- **Partición de los emisores lineales**

Si es necesario calcular el ruido generado por un emisor lineal, éste ha de ser dividido en pequeños elementos con una longitud menor que la mitad de la distancia (u otra longitud, dependiendo de la norma utilizada).

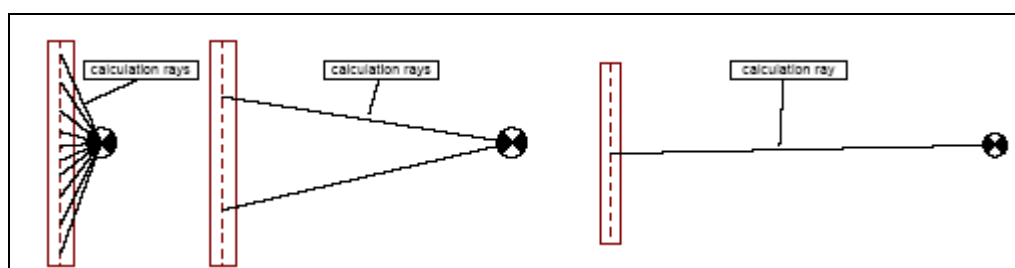


Figura 3 – Partición dinámica de emisores lineales con TR – el número de rayos de cálculo se incrementa al disminuir la distancia.

Al emplear métodos angulares, el sector angular debe ser lo suficientemente pequeño para cumplir estos requisitos.

- **Consideración de las distintas condiciones de propagación.**

Al emplear métodos TR o EA, los ángulos entre los rayos de cálculo adyacentes pueden ser demasiado grandes, y la resolución podría ser muy pobre como para calcular la contribución de energía causada por la transferencia de energía a través de huecos entre objetos (p.e. edificios con huecos entre ellos). La solución es emplear el método de proyección (en el caso de TR) y sectores angulares pequeños (en el caso de EA).

El cálculo correcto, puede ser fácilmente controlado mediante el uso de la configuración mostrada en la figura 4.

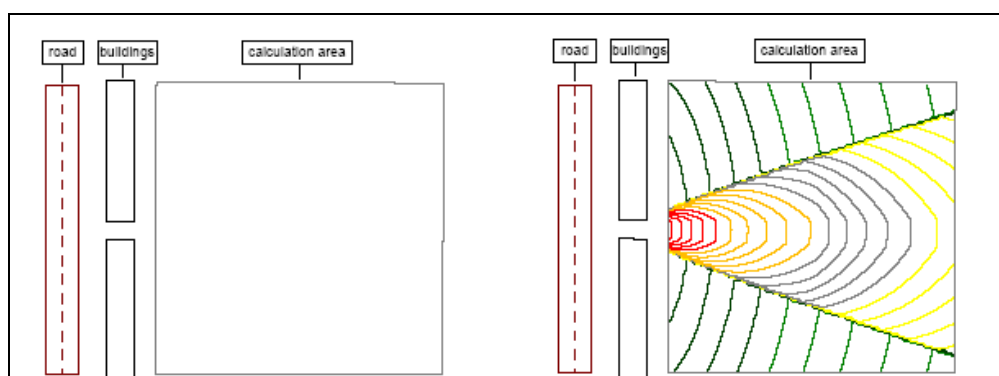


Figura 4 – A la izquierda, escenario de cálculo de un mapa en un área apantallada por edificios con un hueco. A la derecha, resultado de un cálculo con uso del método de proyección (TR).

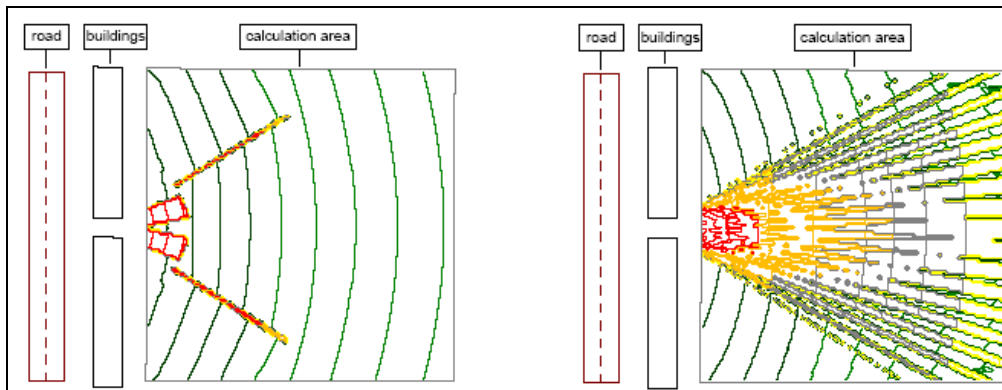


Figura 5 – A la izquierda, cálculo de líneas isófonas con TR sin empleo del método de proyección. A la derecha, cálculo de un mapa empleando EA con 100 sectores angulares para los 360°

El método de proyección es un procedimiento dividido en dos pasos, donde el primero el hueco se proyecta en el emisor lineal con el fin de obtener la parte que exactamente contribuye a la inmisión. En el segundo paso, la longitud de cada subsector es comparada con la distancia y, si es demasiado grande, será subdividido posteriormente. El patrón de las líneas isófonas es un indicador de la calidad de los resultados. Mientras que en la figura 4 (dcha) se muestra el resultado correcto y esperado, es obvio que en la figura 5 los resultados son incorrectos. Este tipo de patrones extraños no son fruto de una visualización errónea, sino que muestran saltos de nivel que no dependen de la física, y por tanto, suponen desviaciones inaceptables.

- **Cálculo correcto de las reflexiones.**

Las reflexiones se calculan generalmente mediante el método de la fuente imagen.

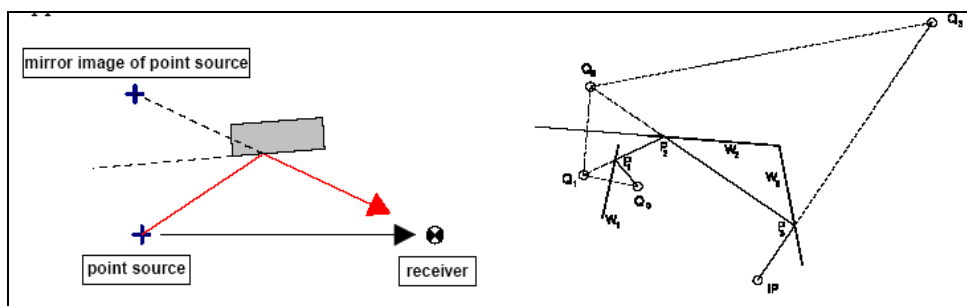


Figura 6 – Método de la fuente imagen, en primer orden (izda.) y en tercer orden (dcha.)

En los casos de ruido industrial, suele ser necesario calcular reflexiones de mayor orden, debido a que la posición del receptor suele estar apantallada y solo puede ser alcanzada por rayos reflejados. Por tanto, es necesario que todos los rayos sean calculados, ya que de otra forma el resultado puede ser erróneo y no sería posible definir si la incertidumbre de los resultados es aceptable.

La figura 7 muestra un escenario que puede ser empleado como prueba para determinar si un software es capaz de calcular reflexiones de hasta orden 10 correctamente.

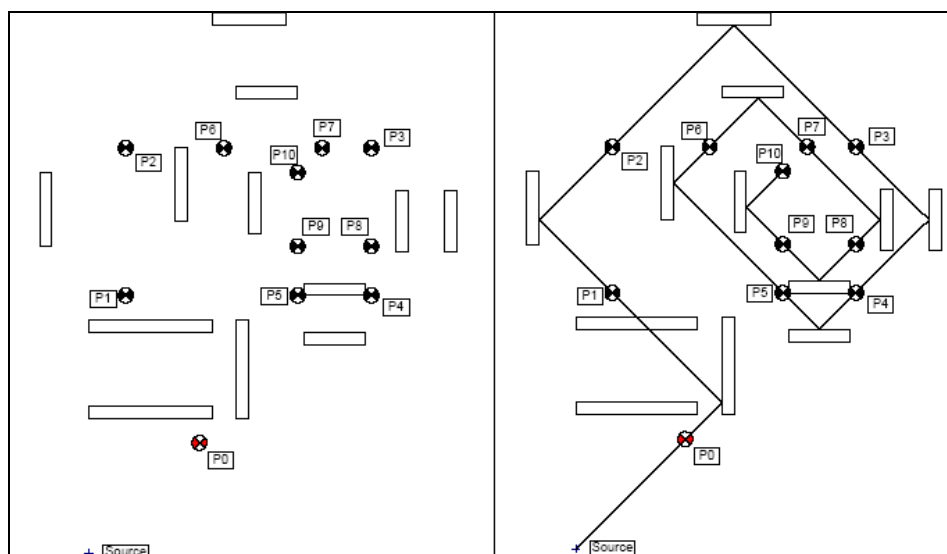


Figura 7 – Izquierda: Caso con 12 objetos reflectantes. Derecha: Cálculo con orden de reflexión 10.

En el escenario de la figura 7, el nivel se ha calculado para 10 puntos receptores. Comenzando con un cálculo sin reflexiones, el orden de reflexión se va aumentando de uno en uno y los resultados se apuntan en una tabla. De esta forma, el salto de nivel fruto de aumentar el orden de reflexión muestra claramente si la energía reflejada se ha calculado correctamente.

#### 4 La incertidumbre de acuerdo con la norma DIN 45687

Los paquetes de software diseñados para realizar mapas de ruido a gran escala deben aplicar determinados procedimientos de aceleración de cálculo, ya que de otra forma no sería posible calcular el ruido de una ciudad en un tiempo aceptable. Dichas técnicas consisten en restringir el radio máximo de búsqueda de fuentes alrededor del receptor, aplicar el procedimiento de proyección y restringir el número de reflexiones a un cierto orden y a una cierta distancia emisor – receptor. Si un mapa de ruido de grandes dimensiones se calcula aplicando estas restricciones, debe realizarse el siguiente procedimiento:

- Distribuir estadísticamente un mínimo de 20 receptores en todo el área de estudio

- El nivel de dichos receptores es calculado aplicando una “configuración de referencia”, donde no se aplica ninguna técnica de aceleración.
- Aplicación de la configuración teniendo en cuenta las técnicas de aceleración.
- Obtención de la desviación entre configuraciones, donde los límites 10% y 90% definen el intervalo de incertidumbre.

Esta técnica muestra una estimación del intervalo de incertidumbre. También muestra si es cierto que no se han empleado aproximaciones en la configuración de referencia. Si un software emplea una configuración de referencia poco precisa, la incertidumbre del cálculo será menor. La experiencia muestra que es necesario estandarizar dicha configuración de referencia, ya que de otra forma la comparación entre programas de cálculo no sería posible.

## **5 Técnicas de aceleración de cálculos aplicadas al software CadnaA**

Los cálculos innecesarios que pueden evitarse dependen en gran medida de la estrategia de cálculo aplicada al software.

### **5.1 Radio de búsqueda**

Es normal en los programas de cálculo configurar el parámetro “radio de búsqueda”. Si el nivel se calcula en un punto receptor, entonces todo el modelo es tenido en cuenta hasta la distancia elegida por medio de este parámetro. Así, cualquier emisor que está a mayor distancia, es despreciable. Es obvio que mediante el empleo de esta técnica de aceleración no es posible establecer un límite para la incertidumbre del modelo. Si por ejemplo, se selecciona un radio de 3000 metros y existe una autopista a unos 3200 metros del receptor, el resultado será menor cuando posiblemente debiera haber sido mayor.

### **5.2 Error máximo**

Este parámetro hace que, al introducir un valor (p.e. 0,5 dB) el cálculo se realice en dos pasos. En el primero, la contribución de todos los emisores dentro del radio de búsqueda es calculada. Estas contribuciones se ordenan en función de su importancia y el cálculo real se ejecuta teniendo en cuenta el orden de importancia de los emisores. Después de cada adición de una contribución al total, el resultado se compara con la siguiente contribución a añadir. Si la siguiente contribución es despreciable con respecto al global, el cálculo puede detenerse, ya que ésta será pequeña con una gran probabilidad. Las pruebas realizadas muestran que esta técnica de hecho limita en casi todos los casos el error producido por despreciar emisores no relevantes en valores menores que el error máximo definido.

### **5.3 Restricción de la reflexión y del cálculo de proyecciones**

Con CadnaA calculando en modo TR, es posible calcular reflexiones de un determinado orden, sólo para reflectores con una distancia máxima configurable al emisor y al receptor. Esto posibilita

restringir el cálculo de reflexión a las fachadas que directamente están expuestas a los emisores o detrás de la posición de los receptores.

Una restricción similar puede aplicarse al cálculo de la proyección. De esta forma, la velocidad de cálculo aumenta considerablemente si la proyección sólo se aplica a edificios a una distancia inferior que el valor definido.

Con software que emplea la estrategia de escaneo angular, los reflectores cercanos a los emisores no pueden ser detectados automáticamente.

#### **5.4 Procesado compartido automatizado**

Esta técnica es clave para solucionar el problema consistente en que todos los datos de un proyecto deban estar presentes en la memoria RAM. Con la técnica PCSP (Parallel Controlled Segment Processing) el área completa es cubierta por sectores rectangulares. Para calcular cada uno de los sectores, la parte del modelo incluida en el sector y en otros sectores adyacentes (hasta la distancia definida en el radio de búsqueda) son cargadas en la RAM, de forma que el cálculo es ejecutado y el mapa rectangular es guardado. Este proceso puede compartirse en varios ordenadores, de forma que el tiempo de cálculo se reduce drásticamente.

#### **5.5 Multithreading**

Todos los procesadores actuales son de tipo dual-core, quad-core o incluso doble quad-core, lo cual significa que dos, cuatro u ocho procesadores pueden ser utilizados para ejecutar un cálculo. Para emplear esta característica, el software debe soportar el cálculo simultáneo de todos los procesadores mediante una división apropiada del cálculo en tareas independientes asignadas a cada uno de los procesadores.

El tiempo de cálculo empleando un software con soporte multithreading se reduce en un factor que es aproximadamente igual al número de procesadores del que dispone la máquina. Esto significa que un software con soporte multithreading es 8 veces más rápido empleando un doble quad-core, que empleando un ordenador que no cuente con esta característica, aun cuando el resto de variables que afectan a la velocidad de cálculo sean constantes.

#### **5.6 Cálculo en ordenadores de 64-BIT**

Aunque el cálculo pueda ser acelerado mediante las anteriores técnicas, existe una restricción utilizando un sistema operativo de 32-BIT: un sistema de este tipo puede utilizar como máximo 4 GB de RAM, pero requiere 2 GB para el sistema operativo y su administración. De esta forma, sólo se pueden asignar 2GB como máximo a la tarea de cálculo del mapa.

Mediante la introducción de los sistemas de 64 BIT, esta restricción ha sido superada. El software CadnaA, primero en lanzar una versión de 64 BIT permite teóricamente introducir un factor multiplicador de 4000 millones en la memoria asignable al cálculo. Teniendo en cuenta el rendimiento real, incluyendo las pérdidas por administración de datos, el incremento sigue siendo tremendo. Ahora es posible manejar modelos y mallas de ciudades completas, o incluso países completos, de



una vez. La restricción es ahora el número total de 16 millones de cada tipo de objeto (hasta el lanzamiento de la versión de 64-BIT, este límite no era alcanzable debido a la limitación impuesta por la memoria RAM asignable).

## **6 Conclusiones**

A día de hoy, la simulación de la realidad empleando métodos de ingeniería, donde la propagación acústica se aproxima mediante rayos geométricos no es posible si todos los posibles canales de propagación se incluyen como rayos acústicos independientes unos de otros.

El uso óptimo el hardware, las estrategias aplicadas en el software y por supuesto, la aceptación del tiempo de cálculo necesario para realizar este tipo de cálculos, son útiles con el fin de obtener resultados fiables como base para definir planes de acción.

## **Referencias**

- [1] W. Probst, U. Donner, ACCON GmbH: The Uncertainty of sound pressure levels calculated with noise prediction programs.
- [2] WG-AEN. Good Practice Guide For Strategic Noise Mapping And the Production of Associated Data On Noise Exposure, version 2, 2006.
- [3] CadnaA website: [www.datakustik.com](http://www.datakustik.com)
- [4] CadnaA user Manual v3.7