



**FIA 2018**

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre**

## **EL USO DE ÁREAS PILOTO COMO BASE DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO A GRAN ESCALA: ASPECTOS TÉCNICOS Y APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CÁLCULO CON SOFTWARE DE PREDICCIÓN ACÚSTICA**

PACS: 43.28.js

Notario Tévar, Antonio  
DataKustik GmbH  
Dorniestr. 4  
82205 Gilching  
Alemania  
+49 8105 77467 0  
E-Mail: [antonio.notario@gmail.com](mailto:antonio.notario@gmail.com)

**Palabras Clave:** Mapas estratégicos de ruido, incertidumbre, configuración de cálculos

### **ABSTRACT**

Nowadays, noise prediction software is the main tool for the calculation of situations oriented to predict noise in open environments. Unfortunately, this approach needs to be further developed before being applied in countries with a growing economy as there are many important technical and operational decisions to be made before a simulation tool is applied to city noise mapping over large areas. This contribution presents some examples on how to take technical decisions, applied to the pilot noise map of São Paulo, developed by the Associação Brasileira para a Qualidade Acustica (ProAcustica).

### **RESUMEN**

Hoy día, el software de predicción acústica constituye la herramienta principal para el cálculo de escenarios orientados a predecir ruido en el ambiente exterior. Desafortunadamente, la aplicación de este concepto en países emergentes no siempre es recomendable ya que existen multitud de decisiones técnicas y operativas que tomar antes de que una herramienta de simulación pueda aplicarse al desarrollo de mapas de ruido en ciudades. Esta contribución presenta ejemplos de toma de decisiones, aplicados al mapa de ruido piloto de São Paulo, desarrollado por la Associação Brasileira para a Qualidade Acustica (ProAcustica).



## FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre**

### INTRODUCCIÓN

Los mapas de ruido son, hoy día, una herramienta fundamental y punto de partida en la integración del ruido en cualquier decisión técnica y política. Un ejemplo práctico es sin duda la implementación de la directiva 2002/49/CE que basa cualquier plan de acción contra el ruido en el cálculo de mapas de ruido de áreas extensas como pueden ser ciudades, comunidades o incluso países. Esta situación ha forzado el desarrollo de programas de predicción de ruido que aprovechan los continuos avances en hardware de computación.

Desafortunadamente, el uso de dicho software de predicción no debería implementarse directamente en aquellos países que carecen de una legislación consistente en materia de ruido. En primer lugar, es necesario un marco de requisitos legales – por ejemplo, límites de ruido – para poder controlar cualquier tipo de actividad existente o futura. El segundo paso es decidir qué métodos de cálculo emplear, con el fin de que el método empleado sea representativo de la situación que se desea simular y por tanto, debe incluir medidas de comprobación. Tomando como ejemplo una fuente de ruido paramétrica como es el caso del tráfico rodado, la comparación de la simulación con mediciones ayudaría a comprender el comportamiento del método de cálculo en áreas extensas. Esto es especialmente importante debido a que los niveles de ruido resultantes serán comparados con los valores límite especificados.

Por último, es obvio que incluso empleando la última tecnología de computación, tanto en lo referente al software como al hardware, el tiempo de cálculo puede ser excesivo sin por ello obtener resultados más precisos. Por tanto, el uso de técnicas de aceleración disponibles en los distintos paquetes de software comerciales es clave para obtener los mejores resultados en el menor tiempo posible, siempre y cuando pueda estimarse – y por tanto controlarse - la pérdida de precisión. La presente comunicación expone el impacto de diversas técnicas de aceleración en los resultados del cálculo aplicadas en el mapa piloto de la ciudad de São Paulo, Brasil.

### EL MAPA PILOTO DE SÃO PAULO

En 2014, la asociación Brasileña de Calidad Acústica (ProAcustica) comenzó una ronda de conversaciones con todas las partes implicadas acerca de la necesidad de desarrollar el mapa de ruido de São Paulo. Con una población aproximada de 12,106,000 habitantes, São Paulo es la ciudad más poblada de Sudamérica. En 2016 se aprobó la Ley 16.499 que establece la obligación de implementar el mapa de ruido de la ciudad de São Paulo. ProAcustica fundó en paralelo una Comisión de acústica ambiental, así como un grupo de trabajo cuyo objetivo fue recolectar la información necesaria para definir una metodología de trabajo. Para ello, se definió una pequeña región de trabajo suficientemente representativa para la toma de decisiones relativas a qué métodos de cálculo emplear, así como qué configuración de software sería la más adecuada.

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

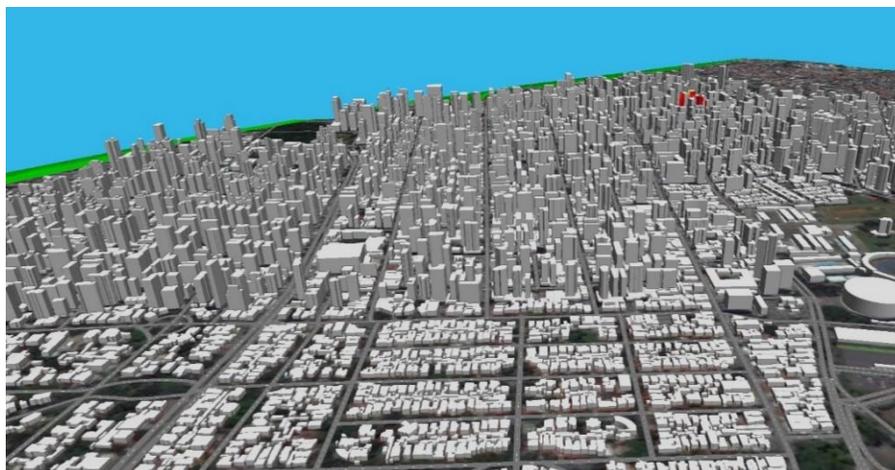


Fig. 1 – Vista 3D del modelo del área piloto de São Paulo

El área piloto tiene aproximadamente un área de 3 km x 3 km incluyendo 12852 edificios y 665 calles / carreteras. El grupo de trabajo empleó varios métodos de cálculo, comparando los resultados con las mediciones efectuadas. Los resultados y conclusiones de dicha investigación no son parte de esta contribución.

### LA INCERTIDUMBRE DEBIDA A LA CONFIGURACIÓN DE CÁLCULO

La metodología empleada se basa en el método descrito en la norma DIN 45687, el cual permite evaluar la incertidumbre causada por las técnicas de aceleración sobre un mapa de ruido – en este caso, el área piloto anteriormente descrita -. Debe quedar claro que la evaluación de la influencia de la configuración de software está relacionada con la desviación con respecto al cálculo “exacto” empleando la norma de cálculo empleada. En este sentido, el método de cálculo define la “verdad”, y cualquier desviación provocada por una configuración diferente disminuye la precisión.

El procedimiento consta de los siguientes pasos:

- El cálculo debe llevarse a cabo en al menos 20 receptores fijos que se distribuyen aleatoriamente en el área de estudio. En este caso se han empleado 50 receptores.
- El nivel en los receptores se calcula primero aplicando la configuración de referencia – sin técnicas de aceleración – Es importante mencionar que dicha configuración de referencia debe ser estandarizada, ya que es la base de cualquier cálculo de incertidumbre.
- En tercer lugar, se repite el cálculo en los mismos receptores aplicando la configuración de proyecto, que incluye las técnicas de aceleración.
- A partir de la diferencia entre los dos resultados se obtiene la siguiente información estadística: media, desviación típica y percentiles 10 y 90, los cuales definen los límites del intervalo de incertidumbre de acuerdo con la norma DIN 45687.

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

### TÉCNICAS DE CÁLCULO ENSAYADAS EN EL ÁREA PILOTO

La estrategia de cálculo aplicada es crítica para evitar cálculos innecesarios y obtener resultados antes sin un impacto relevante en la incertidumbre. La selección de la configuración depende por otro lado en la propia experiencia del usuario con una herramienta específica, así como del tipo de área a calcular. A continuación, se describen los aspectos de la configuración bajo test.

Los test se han llevado a cabo aplicando la siguiente configuración de referencia:

- Radio de búsqueda: **2000 m**
- Error máximo: **0 dB**
- Proyección de fuentes lineales: **Activada (valor=1)**
- Orden de reflexión máximo: **1**

Para esta configuración, el tiempo de cálculo fue de **6 m 00 s**

A continuación, cada parámetro se ha modificado y testado mientras los demás permanecieron constantes, excepto en el último test, donde todas las técnicas de aceleración de han activado simultáneamente, excepto el orden de reflexión (fijado en 1)

De acuerdo con la norma DIN 45687, durante el primer test se situaron automáticamente los 50 receptores, distribuidos en el área de cálculo estadísticamente. Los siguientes test emplearon los mismos receptores generados durante la primera ronda.

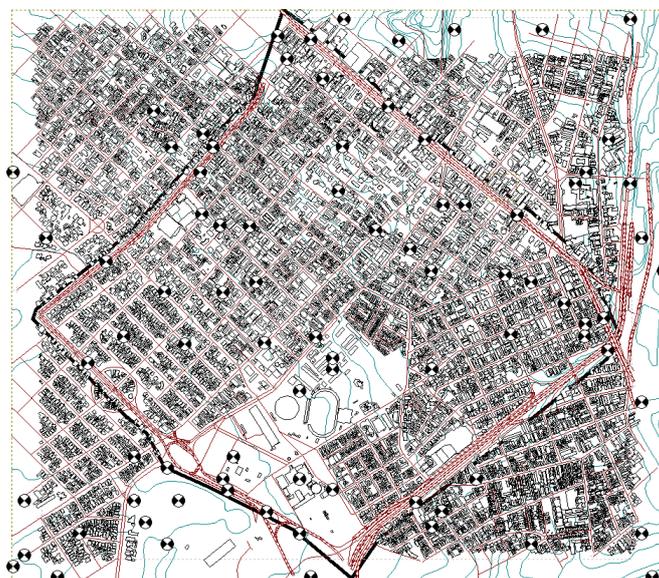


Fig. 2 – Área piloto y posiciones de receptores de test (50)

A continuación, se explican brevemente las técnicas de aceleración probadas así como los resultados de la comparación:

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

### Radio de Búsqueda

El radio de búsqueda está considerado como un parámetro de configuración general que en el mayor de los casos se fija con un valor por defecto. El radio de búsqueda fija la distancia máxima a partir de la cual no se obtendrán resultados de nivel de ruido en receptores más alejados. La configuración de referencia es 2000 m. La configuración de proyecto fue fijada en 1000m.

Tabla 1 – Análisis estadístico del parámetro “Radio de Búsqueda”

Calculation settings under evaluation	Reference	Project
Max. Search Radius	2000	1000
Calculation times (min):	6,00	4,69
<b>Statistical Analysis:</b>		
Quantil q0.1:	-0.1	
Quantil q0.9:	-0.0	
Mean:	-0.1	
Standard Deviation:	0.3	
Minimum:	-1.9	
Maximum:	0.0	

La Tabla 1 muestra el impacto al disminuir el radio de búsqueda a 1000m. Los resultados estadísticos del análisis muestran una desviación sistemática -0.1 dB, mientras que la desviación típica 0.30 dB. Aplicada al área piloto el impacto de este parámetro podría ser considerado como bajo, al tiempo que se observa que el tiempo de cálculo es 1.2 veces más rápido.

### Error Máximo

El error máximo permite definir un valor de forma que las fuentes de ruido cuya contribución al nivel global en un receptor sea despreciable, no serán consideradas en el cálculo, siempre que no se supere el error definido. Por tanto, cuanto mayor sea el error máximo permisible, más corto será el tiempo de cálculo requerido. El cálculo del nivel en el receptor es ahora un proceso de dos pasos. En primer lugar se calcula la contribución de todas las fuentes situadas dentro del radio de búsqueda despreciando todas las atenuaciones excepto las debidas a la dispersión geométrica.

Después de ordenar las contribuciones, el cálculo real se ejecuta incluyendo las fuentes por orden de importancia. Cada vez que se añade una nueva fuente al cálculo, la suma de contribuciones del grupo de fuentes restante se compara con el valor definido por el usuario. Si este valor es inferior, el cálculo finaliza puesto que estas contribuciones están relacionadas con las condiciones de campo libre y por tanto su contribución real será menor con muy alta probabilidad.

La configuración de referencia se fijó a 0 – que significa que todas las fuentes serán tenidas en cuenta. En la configuración de proyecto se ha empleado un valor de 0.5 dB.

Tabla 2 – Análisis estadístico del parámetro “Error Máximo”

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

Calculation settings under evaluation	Reference	Project
Max. Error (dB)	0.0	0.5
Calculation Times (min):	6,00	3,88
<b>Statistical Analysis:</b>		
Quantil q0.1:	-0.2	
Quantil q0.9:	-0.0	
Mean:	-0.1	
Standard deviation:	0.1	
Minimum:	-0.2	
Maximum:	-0.0	

En este caso, el análisis muestra también un impacto bajo en la variación de resultados, pero un tiempo de cálculo mucho más rápido.

### Proyección

Las fuentes lineales y superficiales son siempre segmentadas en secciones de menor tamaño, de forma que generalmente el tamaño de la dimensión mayor es menor que la distancia entre la fuente y el receptor multiplicada por un factor raster. Cuando el parámetro “proyección” está activado, se produce una pre - segmentación de estas fuentes en función de qué secciones de la fuente están apantalladas y cuáles no. Una vez pre – segmentadas, las secciones se calculan con el criterio de distancia y factor raster. Esta técnica mejora los resultados en receptores cercanos a las fuentes si están detrás de obstáculos, pero aun con visual directa con la fuente, y especialmente en situaciones con pocas fuentes.

Tabla 3 – Análisis estadístico del parámetro “Proyección”

Calculation settings under evaluation	Reference	Project
Projection Line Sources	1	0
Calculation times (min):	6,00	0,72
<b>Statistical Analysis:</b>		
Quantil q0.1:	-0.3	
Quantil q0.9:	0.2	
Mean:	-0.0	
Standard deviation:	0.3	
Minimum:	-0.7	
Maximum:	0.8	

El caso específico del área piloto, que incluye multitud de fuentes que contribuyen desde todas direcciones, hace que la técnica de proyección no sea relevante para el resultado final. No obstante, la disminución en el tiempo de cálculo si es extremadamente importante.

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

### Reflexión

El orden máximo de reflexiones consideradas mediante el método de fuentes imagen tiene un gran impacto en el tiempo de cálculo. En la mayoría de ocasiones, un orden de reflexión es suficiente. Considerando el tiempo de computación, se recomienda generalmente emplear un orden de reflexión mayor solo en escenarios limitados a un número pequeño de objetos. Aparte del orden máximo de reflexión, existen otros parámetros de configuración que pueden aplicarse para reducir la generación de reflexiones. Por ejemplo, es posible tener en cuenta solo los reflectores dentro de una distancia máxima entre fuente y receptor. Esto hace posible restringir el cálculo de reflexiones en las fachadas situadas justo enfrente de las carreteras o detrás de la posición del receptor. En este caso se ha realizado una comparación entre los órdenes de reflexión 1 y 2.

Tabla 4 – Análisis estadístico del parámetro “Orden máximo de reflexión”

Calculation settings under evaluation	Reference	Project
max. Order of Reflection	1	2
Calculation times (min):	6,00	53,81
<b>Statistical Analysis:</b>		
Quantil q0.1:	0.0	
Quantil q0.9:	2.1	
Mean:	0.6	
Standard deviation:	0.7	
Minimum:	0.0	
Maximum:	3.1	

En este caso los resultados indican una desviación sistemática de 0.6 dB, lo que significa que los valores son superiores con dos órdenes de reflexión. El intervalo de incertidumbre de acuerdo a la norma DIN 45687 varía desde 0.0 a 2.1 dB. La diferencia en cuanto al tiempo de cálculo es remarcable. De hecho, el tiempo de cálculo con dos órdenes de reflexión es exponencialmente superior con un factor de casi x9.

### TEST DE INCERTIDUMBRE PARA LA COMBINACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ACELERACIÓN

La última prueba se llevó a cabo comparando el paquete completo de técnicas de aceleración activado frente a la configuración de referencia. La única excepción fue la reflexión, que se mantuvo en ambos casos configurada en orden 1. Los resultados finales se muestran en la Tabla 5

Tabla 5 – Análisis estadístico de la combinación de técnicas de aceleración



## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

Calculation settings under evaluation	Reference	Project
Max. Error (dB)	0.0	0.5
Max. Search Radius	2000	1000
Projection of Line Sources	1	0
Calculation times (min):	6,00	0,36

Statistical Analysis:		
Quantil q0.1:	-0.5	
Quantil q0.9:	0.2	
Mean:	-0.2	
Standard deviation:	0.4	
Minimum:	-2.5	
Maximum:	0.8	

La combinación de las técnicas de aceleración proporciona un compromiso muy aceptable entre el tiempo de cálculo y la desviación en los resultados de los receptores de test. Esto significa que la configuración de proyecto podría servir como base para la decisión final antes del cálculo del mapa de ruido de São Paulo.

## CONCLUSIONES

El análisis de incertidumbre mediante la norma DIN 45687 es un potente método para analizar la influencia de las técnicas de aceleración en la precisión y por tanto, para decidir cuál es la mejor configuración a aplicar. Pueden considerarse pasos futuros tales como la definición y estandarización de la configuración de referencia, así como la investigación de la influencia de estas y otras técnicas de aceleración en áreas piloto de distinta topología a la definida en esta comunicación.

## REFERENCIAS

1. CadnaA Prediction Software, DataKustik GmbH 2018
2. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise – Official Journal of the European Communities, 2008
3. Commission Directive 2015/996 establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council, 2016
4. ISO 17534-1:2015 Acoustics. Software for the calculation of sound outdoors. Quality requirements and quality assurance, International Organization for Standardization
5. Acoustics – Software products for the calculation of sound propagation outdoors – Quality requirements and test methods, German Standard DIN 45687