

Propagación sonora del ruido vehicular en espacios urbanos abiertos

Nilda Vechiatti^(a,b), Federico Iasi^(a), Ariel Velis^(a), Antoine Bonnefoy^(a), Alejandro Armas^(a), Daniel Tomeo^(a), Horacio Bontti^(a), Pablo Gomez^(b), Daniel Gavinowich^(b)

^(a) Laboratorio de Acústica y Luminotecnia, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Centenario y 506, Gonnet, Bs. As., Argentina. E-Mail: ciclal@gba.gov.ar

^(b) Laboratorio de Acústica y Electroacústica (LACEAC), Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, Paseo Colón 850, CABA, Argentina. E-Mail: laceac@fi.uba.ar

Abstract

In carrying out studies of acoustic impact or noise mapping, the methods that can be applied to calculate the noise level generated by the road traffic have many points in common but differ in some important aspects. Essentially, they share the concept of considering the total flow of vehicles along a given road as a linear sound source and subdivide it into individual sources that can be treated as point sources. The sound level L_{Aeq} in a particular position of reception is given by the sum of the individual contributions, considering the corresponding attenuation that applies to the sound propagating from point to point. The segmentation of the linear source is one of the aspect in which two of the most publicized methods of calculation differ. In this work the results of prediction by applying the ISO 9613 model and the Harmonoise model are compared and contrasted with field measurements.

Resumen

En la realización de estudios de impacto acústico o de mapeo de ruidos, los métodos de ingeniería que pueden aplicarse para calcular el nivel sonoro generado por la circulación de tráfico rodado tienen muchos puntos en común, pero difieren en algunos aspectos importantes. Fundamentalmente, comparten el concepto de considerar al flujo total de vehículos en una dada vía de circulación como una fuente sonora lineal y de subdividirla en fuentes individuales, que pueden ser tratadas como fuentes puntuales. De esto resulta que el nivel sonoro, L_{Aeq} en una determinada posición de recepción, está dado por la suma de las contribuciones individuales, con la correspondiente atenuación que sufre el sonido al propagarse punto a punto, desde cada una de las fuentes hasta el receptor. En la segmentación de la fuente lineal, es en donde aparece uno de los aspectos en que difieren dos de los métodos de cálculo más divulgados. En este trabajo se comparan los resultados de predicción obtenidos aplicando el modelo de la ISO 9613 y el del Harmonoise y se contrastan, a su vez, con mediciones de campo.

1 Introducción

Para la evaluación del impacto ambiental producido por contaminación acústica resulta indispensable contar con herramientas de predicción, entre las cuales podemos destacar las que permiten calcular la atenuación que sufre el sonido durante su propagación.

En este trabajo de investigación se modelizaron situaciones típicas de generación y propagación de ruido comunitario en entornos urbanos, utilizando modelos normalizados, que pueden ser empleados para la evaluación del impacto acústico de diferentes fuentes sonoras en el ambiente cercano y, en particular, en la salud de las personas expuestas al ruido.

Para calcular el ruido de inmisión generado por la circulación de tráfico urbano en diferentes posiciones de receptor, se utilizaron dos de los modelos matemáticos más difundidos actualmente: el método de ingeniería de la ISO 9613 y el del proyecto Harmonoise, desarrollado por los países miembros de la Unión Europea entre los años 2001 y 2005.

Ambos métodos tienen varios puntos en común, pero difieren en algunos aspectos importantes. En lo que respecta a la representación de la fuente de ruido, comparten el concepto de considerar al flujo total de vehículos en una dada vía de circulación como una fuente sonora lineal y de segmentarla en fuentes individuales, que pueden ser tratadas como fuentes puntuales. De esto resulta que el nivel sonoro continuo equivalente en una determinada posición de recepción, está dado por la suma de las contribuciones individuales, con la correspondiente atenuación que sufre el sonido al propagarse punto a punto. Entre las diferencias de ambos métodos se puede destacar: segmentación de la fuente, modelización del terreno y la influencia en la atenuación debido a los efectos producidos por el suelo, la difracción, las reflexiones y la refracción.

Finalmente, para estimar la precisión de ambos métodos, se realizó una campaña de mediciones de campo que permitió la comparación de los resultados obtenidos por cálculo con los valores medidos in situ.

2 Modelos de cálculo utilizados

2.1 ISO 9613

La norma ISO 9613¹, consta de dos partes. En la Parte 1 se especifica un método analítico para el cálculo de la atenuación del sonido debido a la absorción atmosférica, durante su propagación en campo libre y en diferentes condiciones meteorológicas comúnmente encontradas. Este modelo contempla la dependencia de esta atenuación con la frecuencia del sonido, y con otras tres variables: la temperatura, la humedad y la presión del aire. La Parte 2, a su vez, especifica un método de ingeniería para calcular la atenuación que sufre el sonido durante su propagación en exteriores. En concordancia con la norma ISO 1996², permite predecir el nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A en frecuencias, $L_{AT}(DW)$, en una determinada posición de recepción, y bajo condiciones favorables de propagación desde una o más fuentes, cuya emisión sonora sea conocida.

Los cálculos se realizan para bandas de octavas con frecuencias centrales comprendidas entre 63 Hz y 8 kHz, y pueden aplicarse a propagación de sonido generado por fuentes

¹ ISO 9613: "Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors"

² ISO 1996: "Acoustics. Description, measurement and assessment of environmental noise"

puntuales individuales o en conjuntos, que pueden ser estáticas o estar en movimiento. Para su empleo, se requiere el conocimiento de diversos parámetros vinculados con la geometría de la fuente sonora y del entorno, de las características de la superficie del terreno, y la intensidad de la fuente en términos de espectros de niveles de potencia sonora en la dirección de propagación de interés.

Cuando el ruido es generado por fuentes lineales, tal como suele ser el caso del tráfico rodado o del tráfico ferroviario, se pone de manifiesto el problema de cómo poder aplicar a fuentes extensas, estos cálculos especificados para fuentes puntuales. La solución que propone la norma es la de segmentar la fuente en trozos de longitud menor que se verían desde el receptor como una fuente puntual equivalente ubicada en el centro de cada segmento. Para poder hacer esto, debe cumplirse que la distancia *d*, entre la fuente puntual equivalente y el receptor, debe ser mayor que el doble de la longitud *L* del segmento de fuente ($d \geq 2L$).

Además, en concordancia con lo especificado en la ISO 1996, el viento no debe superar una velocidad de 5m/s (medido a una altura de 3 m a 11 m), y debe soplar desde la fuente hacia el receptor, con una dirección comprendida en un ángulo de $\pm 45^\circ$ alrededor de la línea que une el centro de la fuente sonora dominante con el centro de la región de recepción.

Para poder tomar en cuenta el efecto de varias fuentes se suma energéticamente la contribución de cada una:

$$L_{AT}(DW) = 10 \log \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^8 10^{0.1[L_{fT}(ij) + A_f(j)]} \right\}$$

donde:

- $L_{fT}(ij)$: es el L_{Aeq} generado por la fuente *i*, en la frecuencia central de la banda *j*
- n* : es el número contribuciones (fuentes y caminos)
- $A_f(j)$: es la ponderación “A” en la frecuencia central de la banda *j*

Para una fuente y una frecuencia dadas, el nivel sonoro equivalente, L_{fT} , se calcula con la ecuación básica siguiente:

$$L_{fT}(ij) = L_w + D_c - A$$

donde:

- L_w : es el nivel de potencia de la fuente (potencia de referencia: 1 pW)
- D_c : es la corrección por directividad
- A*: es la atenuación de la banda de octava debida al recorrido del sonido desde la fuente hasta receptor, en dB.

La atenuación que sufre el sonido en su propagación tiene varias contribuciones. Los efectos contemplados por la ISO 9613 son:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

donde:

- A_{div} es la atenuación por divergencia geométrica
- A_{atm} es la atenuación por absorción atmosférica
- A_{gr} es la atenuación por efecto de suelo
- A_{bar} es la atenuación por difracciones sobre obstáculos
- A_{misc} es la atenuación por otros efectos (propagación a través de vegetación, áreas industriales o con viviendas y edificios)

2.2 Proyecto Harmonoise

Harmonoise es un proyecto que desarrolló métodos de ingeniería para predicción de ruido producido por tráfico de superficie (rodado o ferroviario), pero que puede ser extendido a otras fuentes de ruido. Fue realizado entre 2001 y 2005, y está estrechamente relacionado con el proyecto IMAGINE³. Estos métodos de cálculo de ruido urbano se elaboraron con la intención de que fueran los métodos armonizados entre los estados de la Unión Europea para la realización de mapas de ruido, por lo que permiten estimar el ruido a partir de los indicadores establecidos internacionalmente en la Directiva de Ruido Ambiental 2002/49/CE: L_{DEN} y L_{NIGHT}. Dependiendo del grado de detalle de los datos de entrada, pueden distinguirse tres niveles de aplicación: estudios detallados de situaciones particulares (por ejemplo: verificaciones de cumplimiento de límites máximos permitidos), evaluaciones de impacto ambiental o mapeo de ruidos.

El método de predicción se basa en una modelización de la fuente, y en la predicción de la propagación del ruido entre dos puntos del espacio, método “point-to-point” o “P2P”.

Al igual que el modelo de la ISO 9613, el método Harmonoise ha sido desarrollado para calcular el nivel sonoro continuo equivalente ponderado A, generado por el tráfico rodado o ferroviario, bajo condiciones meteorológicas variables. En este caso, dichas fuentes lineales también son divididas en fuentes individuales. Calculando la atenuación que sufre el sonido emitido por cada segmento de fuente al propagarse punto a punto hasta una determinada posición de receptor, y combinando todas estas contribuciones individuales, se obtiene el nivel sonoro total en dicha posición. Estos valores computados son variables en el tiempo, por ejemplo, por variación del flujo de vehículos o de las condiciones climáticas, por lo que se trata de niveles a corto plazo. Este método también permite calcular parámetros de largo plazo, tal como L_{DEN} y L_{NIGHT}, combinando diversos niveles de corto plazo, representativos de la situación estudiada.

El nivel equivalente a corto plazo, L_{eq1h,i}, en una determinada posición de receptor y para una determinada banda de frecuencia *i*, se calcula a partir de la contribución punto a punto de los *N* caminos de propagación:

$$L_{eq1h,t} = 10 \log \left(\sum_{n=1}^N 10^{L_{eq1h,t,n}/10} \right)$$

El método es válido para el rango de frecuencias comprendidas entre 25 Hz y 10 kHz, dividido en bandas de tercios de octavas.

El nivel equivalente global a corto plazo, L_{eq1h}, en una determinada posición de receptor, se calcula a partir de la contribución de todas las bandas de frecuencia del espectro de inmisión ponderado A:

$$L_{eq1h} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^{27} 10^{(L_{eq1h,t} + A_i)/10} \right)$$

El modelo de cálculo básico es similar al que se usa en la norma ISO 9613. El nivel sonoro de inmisión en un punto receptor depende únicamente de la potencia emitida por la fuente y de las atenuaciones que sufre el sonido durante su recorrido. La expresión general es:

$$L_{eq} = L_{w,t} - A_{div} - A_{atm,t} - A_{excess,t} - A_{refl,t} - A_{scat}$$

donde:

³ IMAGINE: Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment

L_{wst}	$L_{wst} = E_{wst} + 10 \log(l_{segment})$
E_{wst}	es la potencia lineal o por unidad de longitud de la fuente, en dB/m
A_{div}	es la atenuación por divergencia geométrica
A_{atm}	es la atenuación por absorción atmosférica
A_{excess}	es la atenuación debido a las reflexiones en el piso y a los efectos de difracción
A_{refl}	es la atenuación por reflexión
A_{scat}	es la atenuación por debida a las zonas de dispersión

La geometría inicial del problema es de 3D, y está compuesta por varios objetos: fuentes lineales, edificios, planos de terreno, barreras. Se trabaja en el plano de propagación entre cada fuente y cada receptor, que es el plano vertical que contiene la línea que une fuente y receptor. En este plano, el problema se reduce a 2 dimensiones, aunque en el caso de reflexiones sobre obstáculos se tienen en cuenta también las componentes fuera del plano al incluir una corrección que las considera.

Debido a gradientes verticales de temperatura o de velocidad del viento, la velocidad del sonido tiene ella misma un gradiente, y eso produce una refracción continua del sonido en el aire, que curva su trayectoria de propagación. Para considerar esta refracción, se realiza una transformación de base, en la que los rayos pueden considerarse rectilíneos, propagándose a velocidad constante o con pequeñas variaciones, y la curvatura la tiene el terreno.

2.3 Comparación de ambos modelos de cálculo

Los métodos de modelización Harmonoise e ISO 9613 son, en principio, muy similares. En ambos modelos la predicción se basa en el nivel de potencia sonora de la fuente, L_w , en cada banda de frecuencia considerada. Los efectos de diversos factores que pueden influir en la propagación del sonido, se calculan por separado y, en consecuencia, se suman o restan al nivel de potencia sonora. A continuación se describen algunas de las diferencias que pueden destacarse entre ambos métodos.

En ISO 9613 no se especifica cómo segmentar la fuente. Sólo se dan algunas condiciones que deben cumplir los segmentos. La más importante tiene que ver con la máxima longitud que puede tener cada uno, y que está vinculada con la distancia entre la fuente y el receptor. Se pueden elegir segmentos de longitud constante o de ángulo constante.

La desventaja más importante de la segmentación por ángulo constante es que en caso de una fuente casi alineada con la dirección fuente-receptor, el ángulo se aproxima a $\pi/2$ y, por lo tanto, la longitud del segmento tiende a ser infinita. En Harmonoise se especifica una segmentación de fuente por ángulo constante mejorada.

La atenuación por divergencia geométrica, debida a la propagación omnidireccional del sonido, es igual para todas las frecuencias, y es función de la distancia recorrida. La expresión analítica es la misma en la ISO 9613 que en el Proyecto Harmonoise.

La atenuación por absorción atmosférica depende de las condiciones meteorológicas, de la frecuencia y de la distancia. El coeficiente de absorción atmosférica, se calcula igual en ambos modelos.

La atenuación por efecto de suelo resulta de la interacción de la onda directa (que se propaga desde la fuente hasta el receptor), con la onda reflejada por la superficie del terreno entre ambos. En ISO 9613, esta componente del método de cálculo sólo es aplicable cuando el suelo es aproximadamente plano. La curvatura del camino de propagación determina que la atenuación dependa de las características del suelo en las cercanías de la fuente y del receptor, por este motivo se diferencian tres zonas: una cercana a la fuente, otra cercana al receptor, y

una zona intermedia. En caso que una región sea una combinación de dos tipos de suelos diferentes, se hace el promedio de ellos, ponderados por la fracción de la longitud de cada uno sobre la longitud de la zona total. La atenuación total del suelo entre la fuente y el receptor es la suma de las atenuaciones por zona.

En Harmonoise, para calcular el efecto de las propiedades del terreno en la reflexión del sonido, se aplica el concepto de “zonas de Fresnel”. Si en la zona de Fresnel se encuentran varios tipos de suelo, con parámetros de absorción o impedancia diferentes, se necesita tener en cuenta la contribución de cada uno. Para ello, cada tipo de suelo es ponderado con la proporción de superficie que ocupa dentro de la zona de Fresnel (ponderación de Fresnel). Si trabajamos únicamente en el plano de propagación (2D) el coeficiente de ponderación es el cociente de las longitudes en lugar del de las superficies.

ISO 9613 se aplica sólo a terrenos planos, mientras que Harmonoise puede ser aplicado a cualquier perfil, y recomienda que se lo modelice con una secuencia de segmentos rectos.

3 Metodología de trabajo

Inicialmente, se desarrolló un programa que implementa las ecuaciones de los modelos de cálculo mencionados, permitiendo el ingreso de datos y la selección de opciones para la modelización de la fuente y del terreno, dando resultados numéricos y gráficos. Los cálculos se realizaron para las bandas de octavas con frecuencias centrales comprendidas entre 63 Hz y 8 kHz.

Esta herramienta de trabajo fue el resultado de una Práctica Profesional Supervisada que se llevó a cabo en el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia, LAL-CIC. Se trató de un proyecto de fin de estudio realizado en el marco del programa ARFITEC para la cooperación franco-argentina en el campo de la formación de ingenieros, mediante un intercambio estudiantil por convenio entre la École Nationale Supérieure d'Électronique et de ses Applications (ENSEA) y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (FI-UNLP). El software permite:

- Caracterizar la fuente sonora en función de su altura y longitud, y de mediciones de niveles de presión sonora equivalentes hechas en proximidades de dicha fuente.
- Seleccionar el método de cálculo para la predicción de los niveles sonoros, eligiendo entre el modelo de la ISO 9613 y el del Proyecto Harmonoise.
- Seleccionar el modo de segmentación de la fuente lineal.
- Ingresar las condiciones ambientales.
- Detallar el tipo de terreno (absorción sonora y geometría).
- Elegir las posiciones en las que se desea obtener los niveles de inmisión a predecir.
- Obtener los resultados de la predicción tanto en forma numérica como gráfica.

A su vez, se realizaron mediciones de campo a dos alturas de micrófono:

- En las proximidades de la fuente, a 15 m del centro de la vía de circulación.
- En dos posiciones de receptor: a 115 m y a 215 m del centro de la vía de circulación, en dirección perpendicular a la misma.

En cada posición de medición:

- Se evaluó la influencia de la altura de los micrófonos (a 1,5 m y a 4 m de altura).
- Se registraron variables meteorológicas: temperatura, humedad relativa ambiente, presión atmosférica, velocidad y dirección de viento.

El lugar escogido para las mediciones fue el Campus Tecnológico de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, en el que está ubicado el laboratorio LAL-CIC. El mismo resulta ser un terreno plano, parquizado, de

aproximadamente 10 Ha, casi libre de construcciones y obstáculos para la propagación del sonido, y ubicado junto a una vía de acceso rápido a la Ciudad de La Plata (Camino Centenario). En la Figura 1 se muestra una vista aérea del lugar, y en las Figuras 2 y 3, dos situaciones de medición a diferentes distancias de la fuente de ruido, donde pueden apreciarse los micrófonos a diferentes alturas, y la estación meteorológica con la que se registraron las condiciones climáticas.



Figura 1. Vista aérea del Campus Tecnológico de la CIC



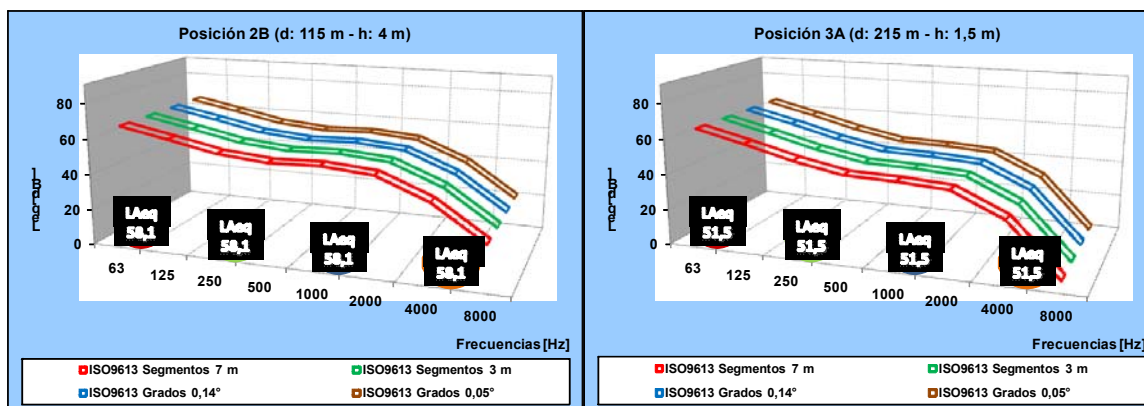
Figuras 2 y 3. Mediciones a diferentes distancias de la fuente de ruido

Para caracterizar la emisión sonora de la fuente, se obtuvieron los espectros de niveles de potencia a partir de medir los espectros de niveles de presión sonora en una posición cercana a la vía de circulación (a 15 m del eje central). Esto determinó que para el modelo ISO 9613, la máxima longitud permitida para los segmentos de fuente fuera de 7,5 m. Con el objeto de ver qué influencia tenían en los resultados obtenidos para este modelo, se evaluaron distintas segmentaciones de fuente: segmentos de longitud constante, de 7 m y 3 m (duplicando la cantidad de fuentes puntuales consideradas), y segmentos de ángulo constante, de 0,14° (máximo ángulo permitido) y de 0,05°.

4 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos al realizar los cálculos con las distintas segmentaciones de fuente para el modelo ISO 9613, resultaron ser coincidentes. En las Figuras 4 y 5 se pueden

apreciar dos de los casos analizados: un punto de recepción ubicado a 115 m de la fuente lineal y a 4 m de altura (Fig. 4), y un punto de recepción ubicado a 215 m de la fuente lineal y a 1,5 m de altura (Fig. 5). En ambos casos se aprecia la coincidencia de los espectros de inmisión y de los niveles sonoros equivalentes ponderados A calculados.



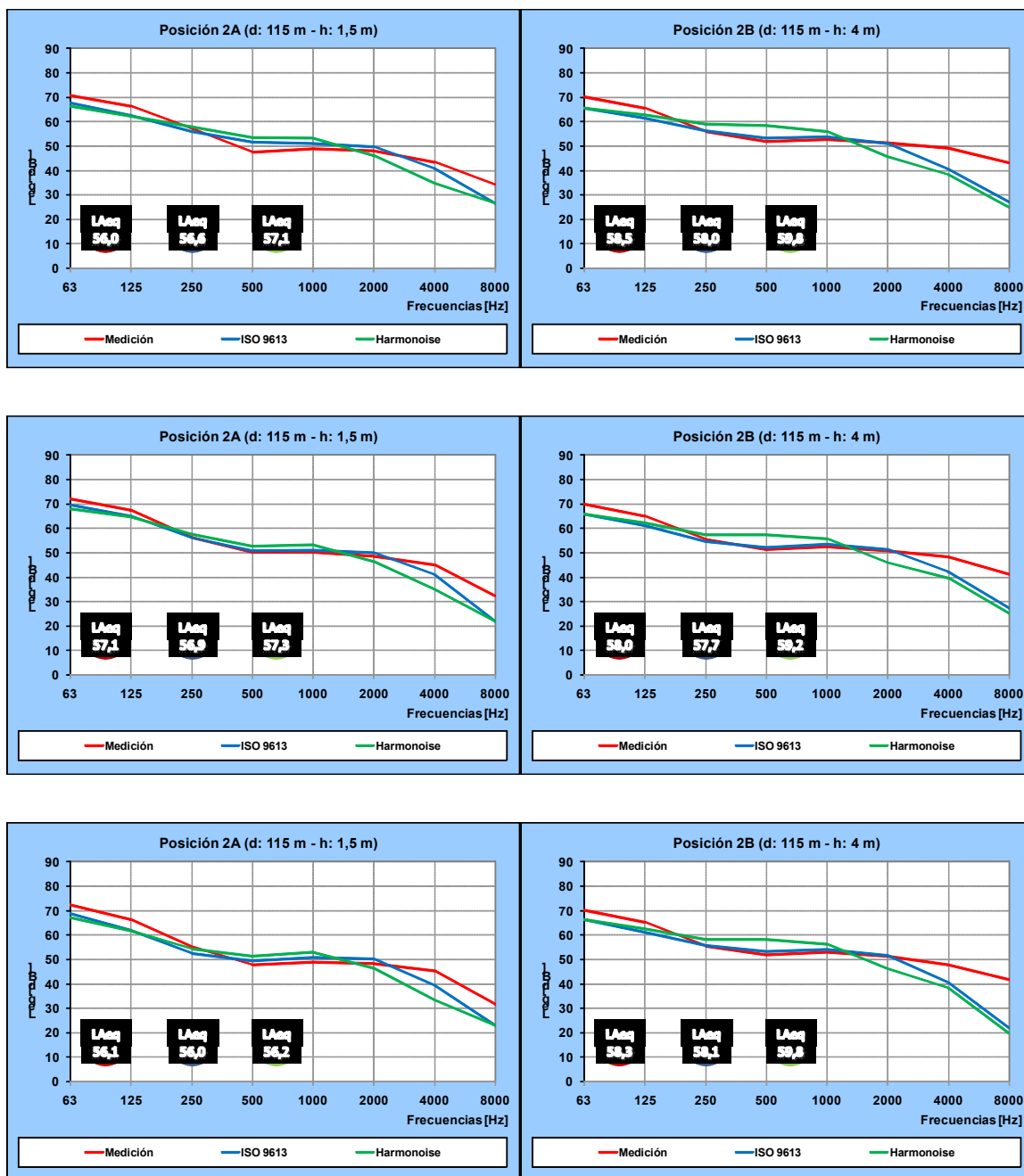
Figuras 4 y 5: ISO 9613 - Diferentes segmentaciones de fuente (posiciones 2B y 3A)

En la Tabla 1 se resumen los valores de niveles sonoros equivalentes globales, L_{Aeq} , medidos y calculados para cada posición de receptor, en las distintas condiciones mostradas en las Figuras 6 a 17. Además, se pueden apreciar los apartamientos de cada valor calculado, respecto del correspondiente nivel medido (ΔL , en dB). Se ha destacado con color los máximos valores de apartamiento obtenidos, y puede verse que se han dado para la posición de receptor más alejada de la fuente de las dos consideradas.

Tabla 1: Niveles globales medidos y calculados, y sus apartamientos del valor medido

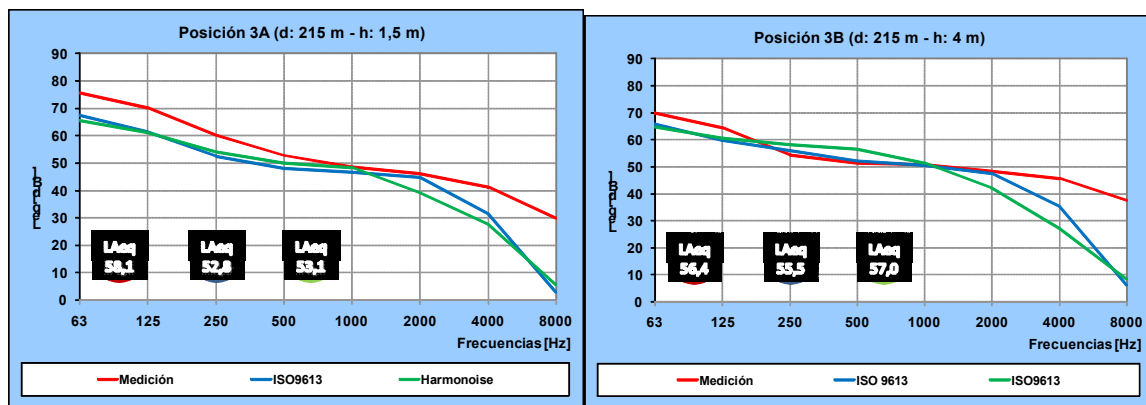
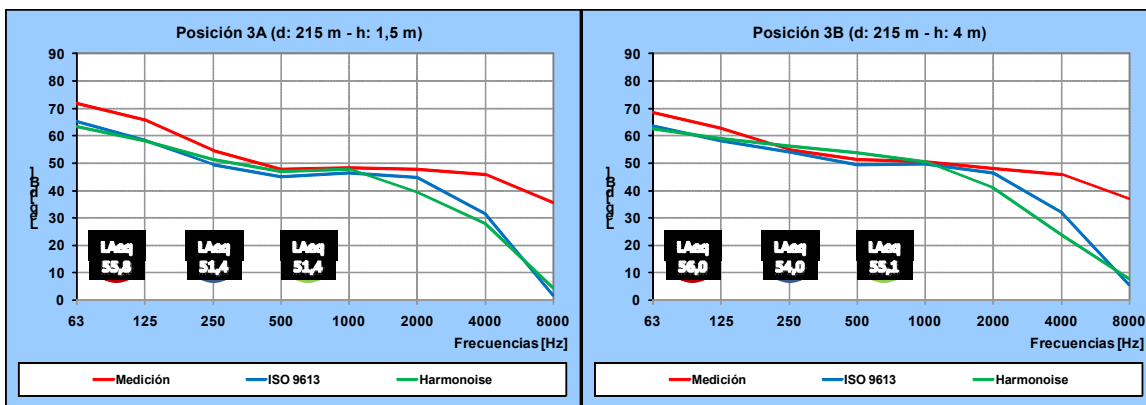
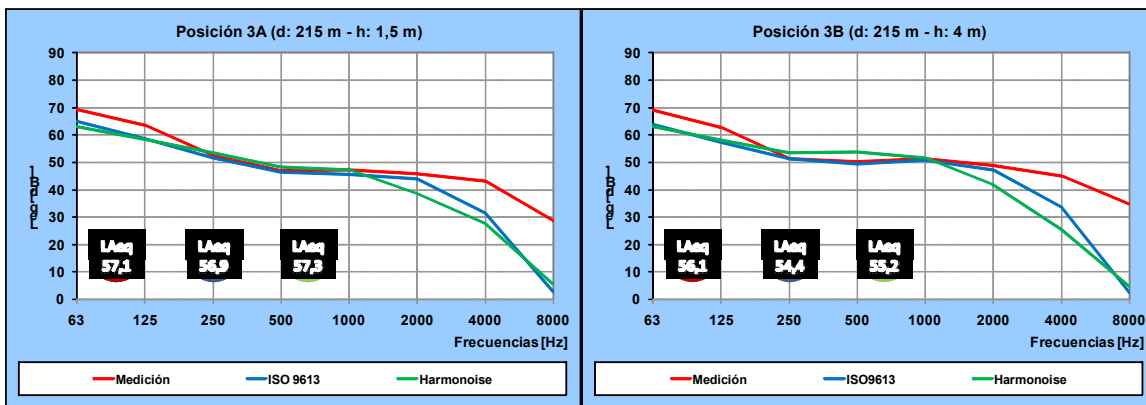
Posición	Medido	ISO 9613	ΔL , en dB	Harmonoise	ΔL , en dB
Punto 2A (d: 115 m - h: 1,5 m)	56,0	56,6	0,6	57,1	1,1
	57,1	56,9	-0,2	57,3	0,2
	56,1	56,0	-0,1	56,2	0,1
Punto 2B (d: 115 m - h: 4 m)	58,5	58,0	-0,5	59,8	1,3
	58,0	57,7	-0,3	59,2	1,2
	58,3	58,1	-0,2	59,8	1,5
Punto 3A (d: 215 m - h: 1,5 m)	53,9	51,5	-2,4	51,7	-2,2
	55,8	51,4	-4,4	51,4	-4,4
	58,1	52,8	-5,3	53,1	-5,0
Punto 3B (d: 215 m - h: 4 m)	56,1	54,4	-1,7	55,2	-0,9
	56,0	54,0	-2,0	55,1	-0,9
	56,4	55,5	-0,9	57,0	0,6

En las Figuras 6 a 11 se presentan los espectros y niveles sonoros equivalentes globales (L_{Aeq}), obtenidos por cálculo mediante ambos modelos de predicción, y comparados con las correspondientes mediciones de campo realizadas durante las distintas campañas de medición, en dos posiciones de receptor ubicadas a 115 m de la fuente de ruido, una a 1,5 m de altura (Figuras 6, 8 y 10), y otra a 4 m de altura (Figuras 7, 9 y 11).



Figuras 6 a 11: Espectros y niveles sonoros medidos y calculados. Distancia a la fuente: 115 m. Alturas de micrófono: 1,5 m y 4 m

En las Figuras 12 a 17 se presentan resultados similares, pero para dos posiciones de receptor ubicadas a 215 m de la fuente de ruido, una a 1,5 m de altura (Figuras 12, 14 y 16), y otra a 4 m de altura (Figuras 13, 15 y 17).



Figuras 12 a 17: Espectros y niveles sonoros medidos y calculados. Distancia a la fuente: 215 m. Alturas de micrófono: 1,5 m y 4 m

5 Conclusiones

Analizando los resultados obtenidos para las diferentes condiciones evaluadas, se puede concluir que:

- Los espectros obtenidos con ambos modelos de predicción, así como sus apartamientos respecto de los espectros medidos, resultaron similares.
- Las distintas segmentaciones elegidas para la fuente lineal al utilizar el modelo ISO 9613 dieron resultados globales idénticos. Esto se debe a que el número de segmentos era elevado para las distancias entre la fuente y las posiciones de recepción evaluadas. Su duplicación no redundó en una mejora en la precisión de los resultados.
- Al comparar los espectros de predicción, se encuentra que los calculados con Harmonoise presentan mayor atenuación en altas frecuencias (a partir de 2000 Hz), pero menor atenuación en frecuencias medias (alrededor de 500 Hz). Esto se respalda el hecho de obtener niveles globales levemente superiores con Harmonoise, y se pone de manifiesto especialmente en las mediciones a 4 m de altura y en las posiciones más alejadas de la fuente.
- Los mayores apartamientos ΔL entre los espectros calculados y los medidos, se obtuvieron en las posiciones de inmisión más alejadas.

Las discrepancias obtenidas entre los valores medidos y los calculados, especialmente en las posiciones más alejadas, no se pueden asociar a falta de adecuación de los modelos de cálculo, sino que se deben a que las mediciones se incluyeron las contribuciones de otras fuentes de ruido, tales como el tráfico de una calle aledaña al campus y el canto de aves en un monte de árboles ubicado por detrás de la posición de medición (a unos 80 m). Es decir, que las mediciones contuvieron el ruido de fondo propio del lugar, mientras que las predicciones sólo tuvieron en cuenta el nivel sonoro que llegaría a la posición de recepción debido a la propagación de la fuente de ruido evaluada (tráfico en el camino Centenario).

Finalmente, cabe comentar que en futuras etapas de investigación se evaluarán más detalladamente estos métodos de predicción para posiciones de receptor alejadas de la fuente.

Referencias:

1. Proyectos HARMONOISE e IMAGINE: <http://www.imagine-project.org/>
2. Technical Report HAR32TR-040922-DGMR20, Harmonoise WP 3, Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning.
3. F. Iasi, y otros. “Measurement and prediction of urban noise spectrum at different heights and distances of the sound source”. Segunda Reunión Panamericana e Ibérica de Acústica en Cancún, nov. de 2010.
4. N. Vechiatti, y otros. “Mediciones comparativas de niveles de presión sonora a diferentes alturas en el ámbito urbano”. Primeras Jornadas Regionales de Acústica, Rosario, noviembre de 2009.
5. Norma ISO 9613-1: 1993 – “Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere”
6. Norma ISO 9613-2: 1996 – “Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: General method of calculation”.