



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A193

Desarrollo de un modelo matemático para la estimación de los niveles de ruido procedente del tráfico rodado en centros urbanos

Development of a mathematical model of road traffic noise in urban downtown

Claudia L. Zuluaga Echeverry^(a),
Mauricio A. Correa Ochoa^(b),
Alice E. González Fernández^(c).

(a) Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental - GIGA- Universidad de Antioquia. Colombia, czulu@udea.edu.co

(b) Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental, - GIGA- Universidad de Antioquia. Colombia, mcorrea@udea.edu.co

(c) Facultad de Ingeniería. Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Universidad de la República. Uruguay, elizabethgonzalez@netgate.com.uy

Abstract

This research paper presents an analysis of the impact caused by road traffic and its composition, on the sound pressure levels found in urban areas in the municipality of Envigado (Antioquia, Colombia). Different acoustic parameters (Leq (dBA), L10 (dBA) L90 (dBA)), distributed in space and time, were quantified in the vicinity of the main roads in the area of the town centre. The average sound pressure levels were evaluated and examined with respect to existing environmental legislation in the field of environmental noise. Moreover, from field observations were able to obtain a mathematical model, with a reasonably good correlation coefficient, to estimate the environmental sound pressure levels in urban centers characterized by their high vehicular flow.

Resumen

Este trabajo de investigación presenta un análisis del impacto producido por el tráfico rodado y su composición, sobre los niveles de presión sonora encontrados en el área urbana del municipio de Envigado (Antioquia, Colombia). Diferentes parámetros acústicos (Leq (dBA), L10 (dBA) L90 (dBA)), distribuidas en el espacio y en el tiempo, fueron cuantificados en las inmediaciones de las principales vías de la zona centro del municipio. Los niveles promedio de presión sonora fueron evaluados y analizados respecto a la legislación ambiental vigente en materia de ruido ambiental. Adicionalmente, a partir de las observaciones de campo se pudo obtener un modelo matemático, con un buen coeficiente de correlación, para estimar los niveles de presión sonora ambiental en centros urbanos caracterizados por su alto flujo vehicular.

1 Introducción

En Colombia, durante las últimas décadas, han gobernado diferentes factores sociales y económicos que han desencadenado masivos desplazamientos de personas desde las zonas rurales hacia los principales núcleos urbanos. Este fenómeno, ha derivado en un rápido aumento de la población, un incremento acelerado del parque automotor, un alto índice de construcción de edificaciones y obras civiles y una alta actividad industrial y comercial, lo cual ha propiciado un ambiente urbano con altos niveles de contaminación acústica.

Un buen ejemplo de esta situación se presenta en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), donde los principales municipios que conforman esta región, están siendo sometidos a altos niveles de ruido, y donde se ha matizado este contaminante, como el principal causante del deterioro de la salud y la calidad de vida de la población, y en general, como un elemento más de la degradación ambiental urbana. Además, se estima que un poco más del 40% de sus habitantes, en la actualidad, están siendo sometidos a niveles de ruido por encima de los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud que pueden ser perjudiciales para la salud (Acevedo, J. et al. 1978; SMAM. 2004 y 2005; Cardona, L. et al. 1999; Bedoya, J. et al. 2003; AMVA. 2005; CGM. 2006; Cardona, J. et al. 2005).

El municipio de Envigado, con una población de 170 391 habitantes en la zona urbana, es uno de los 10 municipios que integran el AMVA. Con una extensión de 12,12 km² en su área urbana, se encuentra situado al sudeste de la ciudad de Medellín, capital del Departamento de Antioquia (6°10'19" Norte y 75°35'09" Oeste). Este territorio a pesar de contar con una adecuada infraestructura vial, en los últimos años se ha caracterizado por ser un municipio acústicamente conflictivo, dado que su centro urbano se encuentra rodeado por importantes ejes viales (Vía Regional, Avenida Las Vegas, Carrera 43 A (Avenida el Poblado), Transversal Intermedia, Vía Palmas y Troncal de Occidente), los cuales se han convertido en sistemas de conexión y tránsito obligado para una gran cantidad de vehículos de todo tipo, que se movilizan, no solo a nivel local; sino también para aquellos que se desplazan entre los diferentes municipios que conforman el AMVA. Esta situación, asociada a las actividades de ocio y comercio, han sido catalogadas como las principales responsables de los altos niveles de contaminación por ruido en la zona céntrica del municipio de Envigado.

Las autoridades ambientales locales y regionales, conscientes y altamente preocupadas por los altos niveles alcanzados de contaminación acústica, y dado que el ruido producido por el tráfico vehicular es uno de los tipos de ruido más acentuados en ambientes urbanos y en general es considerado como el más molesto, si se compara con otros tipos de ruido, entre los que se incluye el ruido industrial, el ruido de aeropuertos y el ruido comunitario (Zannin et al., 2003), se han visto enfrentados a la necesidad de dotarse de instrumentos normativos y elementos técnicos encaminados a valorar y caracterizar el ruido ambiental urbano. En este sentido, se vienen ejecutando diferentes trabajos de investigación con el propósito de desarrollar herramientas y métodos de predicción de los niveles de presión sonora, con los que se pretende soportar las estrategias, mecanismos y medidas pertinentes para su reducción.

Este trabajo de investigación presenta un análisis del impacto producido por el tráfico rodado y su composición, sobre los niveles de presión sonora encontrados en el área urbana del municipio de Envigado (Antioquia, Colombia). Diferentes parámetros acústicos (Leq (dBA), L10 (dBA) L90 (dBA)), distribuidas en el espacio y en el tiempo, fueron cuantificados en las inmediaciones de las principales vías de la zona centro del municipio. Los niveles promedio de presión sonora fueron evaluados y analizados respecto a la legislación ambiental vigente en materia de ruido ambiental. Adicionalmente, a partir de las observaciones de campo se pudo obtener un modelo matemático, con un buen coeficiente de correlación, para

estimar los niveles de presión sonora ambiental en centros urbanos caracterizados por su alto flujo vehicular.

2 Zona de estudio

La zona objeto de estudio se localiza en el Barrio denominado Zona Centro, entre la diagonal 40 (al norte) y la calle 40 C sur (al sur), y las carreras 39 (al este) y 43 A (al oeste), con una extensión de 3,3 km², y según el Plan de Ordenamiento Territorial, este sector está catalogado de uso comercial. Sin embargo, se evidencia la presencia de una multiplicidad de actividades, entre las que se encuentran una gran cantidad de pequeñas industrias, edificaciones de uso institucional y residencias, situación que ha originado inconvenientes en la definición de uso del territorio en éste sector. La distribución de la población en la zona centro es de 1513 predios, 757 viviendas, 3086 habitantes, lo que corresponde a una densidad poblacional de 93,62 hab/Ha.

3 Metodología

3.1 Puntos de medición

La metodología adoptada para la evaluación del ruido ambiental en el centro de Envigado fue la sugerida por Brown y Lam (1977), en la cual se definen dos estrategias para la selección de los puntos de medición. La primera de ellas consistió en configurar los puntos de evaluación en una malla rectangular, en la cuales los nodos de está coincidieron exactamente con los cruces viales de la zona objeto de estudio. La segunda estrategia, consideró una clasificación de áreas de atención prioritaria, teniendo presente los usos del suelo, la densidad demográfica, la proliferación de quejas y las vías con mayor demanda vehicular. Este procedimiento permitió seleccionar un total de 19 puntos de medición ubicados al interior de la zona céntrica del municipio de Envigado.

Los sitios de medición presentaron las siguientes características: vía pavimentada y en buen estado; velocidad de circulación vehicular, entre 20 km/h y 50 km/h; pendiente promedio de la vía, alrededor de 2%, vías estrechas, entre 6,5 m y 10,5 m y presencia de superficies reflectantes (edificaciones y muros) en ambos lados de la vía, con altura promedio de 5,5 m.

3.2 Mediciones de Campo

Durante las campañas de medición, las cuales se desarrollaron entre el 17 y 20 de septiembre de 2007, se utilizaron 2 sonómetros marca Quest serie 2900 y 3 sonómetros marca Casella serie 490, en modo de operación con filtro ponderación A, tempo de respuesta rápida y con certificado de calibración vigente, para los registros de los parámetros acústicos. Adicionalmente, se tomó como referencia la metodología propuesta en la Resolución 0627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, para la evaluación de ruido ambiental. Cada uno de los diecinueve (19) puntos seleccionados fueron evaluados entre lunes y jueves, desde las 7:00 a las 21:00 horas (jornada diurna), tomando cinco registros de 10 minutos de los parámetros acústicos: nivel continuo equivalente (Leq (dBA)) y los percentiles 10 y 90 (L10 (dBA) y L90 (dBA), respectivamente) en cada hora de medición, para un total de 239 datos. Adicionalmente, se realizaron aforos vehiculares, en los cuales se discriminó la composición del tráfico en vehículos livianos, pesados y motos.

3.3 Evaluación de los niveles de ruido

Los resultados de las mediciones de ruido fueron comparados con el estándar máximo permisible de nivel de ruido ambiental, de acuerdo a una clasificación de zona de uso

comercial para la jornada diurna, estipulado en el Artículo 17 de la Resolución 0627 de 2006. Esto permitió, hacer el diagnóstico de la calidad acústica en las diferentes zonas evaluadas, identificar las zonas críticas y señalar las posibles fuentes de contaminación por emisión de ruido.

3.4 Análisis exploratorio de datos

Con el propósito de definir la metodología para el tratamiento estadístico de las observaciones y los resultados obtenidos en las modelaciones (estadística paramétrica o estadística no paramétrica), se procedió a la aplicación del test de D'Agostino, el cual permite determinar si el conjunto de datos sigue o no una distribución normal.

3.5 Evaluación de modelos predictivos de ruido de tráfico

En la literatura existen una gran cantidad de modelos predictivos de ruido que han sido acoplados por varios autores a las características de diferentes entornos y que serán aplicados a la zona centro del municipio de Envigado con fines de verificar su adaptabilidad a las condiciones acústicas locales.

Mediante la determinación de los parámetros estadísticos: Error Cuadrático Medio (RMS), Error Medio Absoluto (MAE), Error Medio Absoluto Normalizado (NMAE), se evaluó el comportamiento de los diferentes modelos aplicados. Posteriormente, se utilizó la prueba de Mann – Whitney, para determinar si existía correspondencia entre los valores medidos y simulados. Esta prueba permite verificar si las diferencias correspondientes a dos muestras paralelas se distribuyen simétricamente alrededor de la mediana cero.

3.6 Modelo matemático

A partir de las observaciones obtenidas en los 19 puntos de medición, se procedió a realizar un análisis de regresión entre los principales parámetros que condicionan los niveles de ruido en las zonas de alto flujo vehicular, con el propósito de obtener una expresión matemática que permitiera relacionar los niveles de ruido ambiental y la composición del tráfico rodado.

4 Resultados

4.1 Puntos de medición

A continuación se presentan los valores promedio de las principales características físico-espaciales y la ubicación de los puntos de medición.

Tabla 1. Valores promedio de las características físico-espaciales de los puntos de medición

Punto	Ubicación	Sentido de circulación	Ancho de la vía (m)	Ancho del andén (m)		Altura promedio edificaciones (m)
				Lado izquierdo	Lado derecho	
1	Cra 43 x Cra 43 A	NW-SE	10,1	3,00	1,25	5,5
2	Cra 43 A x Cille 32 A Sur	NW-SE	10,1	2,50	2,5	5,5
3	Transv 33 Sur X Cr43	NW-SE	7,1	3,5	1,65	6,05
4	Cr 43A X Cille 33 B sur	EW-NS	10,10	1,40	1,45	7,15

Punto	Ubicación	Sentido de circulación	Ancho de la vía (m)	Ancho del andén (m)		Altura promedio edificaciones (m)
				Lado izquierdo	Lado derecho	
5	Cll 35 Sur X Cr 40	N-S	7,65	2,15	5,55	7,15
6	Cr 43A X Cll 36 sur	E-W	9,55	1,50	3,80	5,5
7	Cll 36 Sur X Cr 43	NS-WE	7,00	1,50	1,50	5,5
8	Cll 36 Sur X Cr 39	N-S	7,20	6,35	2	6,05
9	Clle 37 Sur X Cr 42	NS-EW	9,80	1,00	1,50	7,15
10	Clle 37 Sur X Cr 40	NS-EW	9,00	2,50	2,50	4,4
11	Cr 43A X Cll 38 sur	NS-EW	10,30	1,50	2,30	6,05
12	Clle 38 Sur X Cr 43	N-S	9,50	3,20	3,50	6,05
13	Cll 38 Sur X Cr 39	NS-WE	9,50	4,00	3,50	3,3
14	Cr 42 X Cll 38 A Sur	E-W	7,75	2,2	2,15	2,75
15	Cll 38A Sur X Cr 40	N-S	6,55	1	1,5	3,85
16	Cr 43A X Cll 39 sur	EW-NS	10,30	1,40	1,80	6,6
17	Cr 39 X Cll 39 Sur	WE-NS	9,40	1,27	1,35	6,05
18	Cr 42 X Cll 40 C Sur	E-W	8,10	1,92	2,10	4,95
19	Cr 37 X Cll40B Sur	W-E	6,6	1,1	1	6,6

4.2 Mediciones de Campo

En la tabla 2, se puede observar los promedios horarios del nivel de presión sonora ($L_{Aeq,1h}$) y de flujo vehicular, el cual esta discretizado en livianos, pesados y motos, para la jornada de medición (entre 07:01 y 21:00). Adicionalmente, se presenta la comparación entre los valores de ruido observados en cada uno de los puntos de medición y el nivel máximo permisible (70 dBA, 1h), establecido en la Resolución 627 de 2006, para ruido ambiental durante la jornada diurna en zonas clasificadas como de uso comercial.

Tabla 2. Promedio horario de los niveles de ruido ($L_{Aeq,1h}$) y flujo vehicular discretizados por livianos, pesados y motos, en cada uno de los puntos evaluados

Punto	Aforo vehicular				Nivel de ruido		Comentario
	Livianos	Pesados	Motos	Tránsito total	$L_{Aeq,1h}$	Norma, $L_{Aeq,1h}$ (dB)	
1	1378	175	447	2000	74,5	70,0	No cumple
2	1014	93	265	1373	72,9	70,0	No cumple
3	467	64	195	727	71,4	70,0	No cumple
4	1098	167	402	1668	76,1	70,0	No cumple
5	480	59	216	756	70,4	70,0	No cumple
6	831	139	258	1229	70,9	70,0	No cumple
7	403	7	159	570	69,1	70,0	Cumple
8	597	27	268	892	69,3	70,0	Cumple
9	909	74	320	1304	70,5	70,0	No cumple
10	765	94	271	1130	73,2	70,0	No cumple
11	874	213	318	1405	73,9	70,0	No cumple

Punto	Aforo vehicular				Nivel de ruido		Comentario
	Livianos	Pesados	Motos	Tránsito total	$L_{Aeq,1h}$	Norma, $L_{Aeq,1h}$ (dB)	
12	1126	124	399	1648	73,0	70,0	No cumple
13	888	180	276	1345	74,1	70,0	No cumple
14	502	183	193	878	70,5	70,0	No cumple
15	568	170	212	950	72,5	70,0	No cumple
16	1195	188	409	1793	74,4	70,0	No cumple
17	431	148	183	762	70,6	70,0	No cumple
18	230	34	90	354	64,8	70,0	Cumple
19	373	137	152	662	70,8	70,0	No cumple

4.3 Análisis exploratorio de datos

En la tabla 3 se presentan los resultados del análisis exploratorio y la prueba estadística de D'Agostino para determinar la normalidad de la serie de datos obtenidos en cada uno de los puntos evaluados durante toda la campaña de medición.

Tabla 3. Resultados del análisis exploratorio y la prueba estadística de D'Agostino obtenidos en cada uno de los puntos evaluados durante toda la campaña de medición

Punto	Jornada de medición	Número de datos	Media	Estadístico	Test D'Agostino
1	07:00 - 20:00	14	74,5	0,2352	No normal
2	07:00 - 20:00	14	72,9	0,2558	No normal
3	09:00 - 20:00	13	71,9	0,1915	No normal
4	09:00 - 20:01	13	75,9	0,2358	No normal
5	07:00 - 20:00	14	70,2	0,2674	Normal
6	07:00 - 20:00	14	70,9	0,2842	Normal
7	07:00 - 20:00	14	68,9	0,2847	Normal
8	08:00 - 20:00	13	69,2	0,2691	Normal
9	08:00 - 20:00	13	70,4	0,2633	Normal
10	08:00 - 20:00	13	73,2	0,2808	Normal
11	07:00 - 17:00	10	73,8	0,2668	Normal
12	07:00 - 14:00	8	72,8	N.A.	No normal
13	07:00 - 19:00	13	74,0	0,2507	No normal
14	07:00 - 15:00	8	70,4	N.A.	No normal
15	07:00 - 17:00	10	72,3	0,2206	No normal
16	06:00 - 20:00	14	74,2	0,2658	Normal
17	07:00 - 20:00	14	70,5	0,2802	Normal
18	07:00 - 20:00	14	64,5	0,2621	Normal
19	07:00 - 20:00	14	70,8	0,279	Normal

4.4 Evaluación de modelos predictivos de ruido de tráfico

De la totalidad de modelos predictivos de ruido encontrados en la literatura, se escogieron 13 de ellos para su evaluación en la zona de estudio, debido a que involucraban variables de fácil obtención como el tránsito total y las características físico-espaciales de los puntos de monitoreo.

Los modelos fueron aplicados a un total de 239 datos y se verificó su acople con los valores medidos, dentro de un rango de ajuste de ± 3 dB (González, 2000). Adicionalmente, se determinaron los parámetros estadísticos RMS, MAE y NMAE, y se empleó prueba de Mann-Whitney para comparar los pares de la serie de datos medidos y la serie de datos simulada. La siguiente tabla muestra los resultados del análisis estadístico resultante de la aplicación de los modelos.

Tabla 3. Evaluación de modelos existentes

Modelo	Ajuste, R	Datos en rango ± 3 dB	RMS	MAE	NMAE	Mediana Datos Simulados	Prueba de Mann-Whitney
1. Gaja, Díaz, 1984.	0,57	64,4 %	2,8	2,3	0,03	69,67	No Comparables
2. L. Czabalay y L Sárvári (Leq 25m), 1985.	0,62	8,4 %	5,8	5,5	0,10	66,23	No Comparables
3. L. Czabalay y L Sárvári (Leq 7,5 m), 1985.	0,63	82 %	2,2	1,8	0,03	70,45	No Comparables
4. Jraiw, 1986.	0,59	0 %	25,3	25,3	0,40	97,392	No Comparables
5. Lamure, 1985.	0,61	65 %	2,8	2,4	0,03	73,99	No Comparables
6. Lamure, 1985.	0,58	25 %	4,6	4,2	0,10	75,9	No Comparables
7. Prascevic, Cveltovik y Stojanovic, 1997.	0,62	40 %	3,8	3,4	0,05	75,19	No Comparables
8. Sánchez Rivera, 1996.	0,64	2 %	6,5	6,3	0,10	66,88	No Comparables
9. Sattler, 1998.	0,54	83 %	2,1	1,8	0,03	70,39	No Comparables
10. Montburn	0,55	14 %	5,5	5,2	0,10	66,66	No Comparables
11. A. García, 1998.	0,62	85 %	2,2	1,7	0,02	72,89	No Comparables
12. A. García detallado, 1998.	0,61	40 %	4,1	3,6	0,10	75,4	No Comparables
13. González, E., 2000.	0,53	4 %	6,8	6,5	0,10	78,274	No Comparables

4.5 Desarrollo del modelo matemático -CLAMA-

Los principales parámetros físico-espaciales y acústicos, que posiblemente tuvieran incidencia sobre los niveles de contaminación por ruido, fueron organizados en una matriz, con el propósito de obtener los coeficientes de correlación entre las diferentes variables e identificar cuales de ellos tienen mayor pertinencia. En la tabla 5, se presenta la matriz de coeficientes de correlación entre las diferentes variables medidas en campo.

Tabla 5. Matriz de correlación entre todas las variables medidas en campo

Variables	$L_{Aeq,1h}$	Ancho vía (Av)	Altura edificaciones (he)	Livianos	Pesados	Motos	Flujo vehicular
Leq,A,1h	1,00						
Ancho vía (Av)	0,56	1,00					
Altura edificaciones (he)	0,06	0,20	1,00				
Livianos	0,79	0,79	0,17	1,00			
Pesados	0,69	0,47	-0,24	0,49	1,00		
Motos	0,79	0,72	0,29	0,96	0,47	1,00	
Flujo vehicular	0,83	0,79	0,16	0,99	0,59	0,97	1,00

Las mejores correlaciones encontradas son 0,83 para flujo vehicular, 0,79 para vehículos livianos y motos, y 0,69 para vehículos pesados. Estos resultados indican que el parámetro de mayor pertinencia y que determina los niveles de ruido generados por el tráfico rodado, bajo las condiciones propias del municipio de Envigado, es el flujo vehicular total.

El modelo matemático para la predicción de los niveles de ruido por tráfico vehicular parte del modelo teórico generalista, donde el flujo total de vehículos es la única variable independiente. A partir de los datos observados en cada uno de los puntos de medición, se construyó una gráfica de flujo vehicular total (Q) contra el nivel promedio equivalente ($L_{Aeq,1h}$).

La forma general de un modelo predictivo de ruido producido por el flujo vehicular se expresa de la siguiente manera:

$$L_{eq} = a + m \log (Q) + correcciones \quad (1)$$

En la cual:

- L_{eq} : es el nivel promedio equivalente horario de ruido, dBA
- Q : es el flujo vehicular total en una hora
- a, m : son constantes de la ecuación

Por medio de un ajuste logarítmico, se pudo determinar los valores de las constantes a y m , 40,813 y 10,239, respectivamente. De esta forma, la expresión que matemáticamente representa el ajuste de la curva y puede predecir los niveles equivalentes de ruido producidos por el tráfico rodado es:

$$L_{Aeq,1h} = 40,813 + 10,239 \log (Q) + correcciones \quad (2)$$

En la tabla 5, se presenta el resumen de los resultados del análisis estadístico y el comportamiento del modelo CLAMA, con respecto a las observaciones del nivel promedio equivalente en los diferentes puntos evaluados.

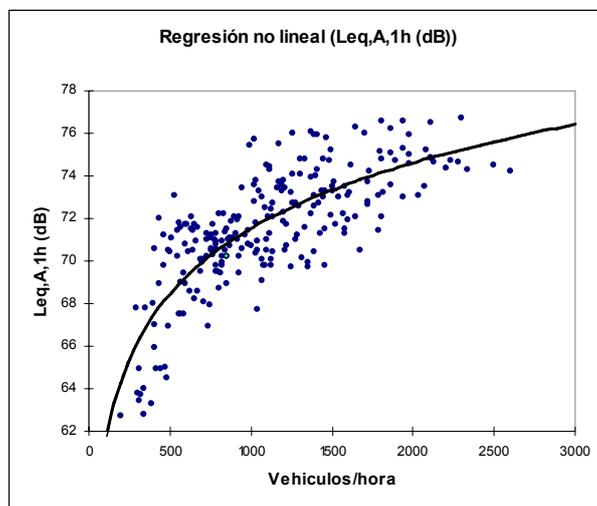


Figura 1. Relación entre el nivel de ruido equivalente y el flujo total vehicular para todos los puntos evaluados.

Tabla 5. Resultados del modelo propuesto –CLAMA–

Ajuste R	Datos en rango ± 3 dB	RMS	MAE	NMAE	Mediana Datos Medidos	Mediana Datos Simulados	Prueba de Mann-Whitney
0,62	92,1 %	1,7	1,4	0,02	71,57	71,82	Comparables

5 Análisis de resultados

De la aplicación de la prueba de normalidad de D'Agostino, se encontró que en el 42% de los puntos evaluados el comportamiento de los datos es no normal, razón por la cual se recurre a las teorías de la estadística no paramétrica para el análisis de los datos medidos y simulados.

Respecto a los modelos evaluados, los resultados muestran un acople relativamente aceptable con los modelos propuestos por L. Czabalay y L Sárvári y A. García, en donde el 82 % y 85 % de los datos, respectivamente, se encuentran dentro del rango de ajuste propuesto en esta investigación (± 3 dBA). Sin embargo, una vez se recurre a la prueba de Mann-Whitney para comparar los pares de la serie de datos medidos y la serie de datos simulada, se encuentra que éstas no son comparables. Es decir, la hipótesis nula que plantea que las series de datos deben de tener medianas semejantes, se rechazó, dado que el estadístico calculado es menor al teórico, según los fundamentos de la prueba.

Se trabajó con un conjunto de 239 datos referidos al nivel de presión sonora y tráfico vehicular en un período de referencia de 1 hora. Por regresión lineal se determinaron los coeficientes a y m obteniendo un coeficiente R de correlación de 0,62 y un acople del 92,1 % de los datos dentro del rango de ± 3 dBA. Dado que el ajuste de correlación R no es un

indicador adecuado para el análisis de los datos, puesto que los datos se distribuyen en forma de “manchas” y no de rectas (González, 2000), se aplicó la prueba de Mann-Whitney a las series de datos, obteniendo que éstas son comparables para un nivel de confianza α del 95%.

Los aforos vehiculares realizados en la zona de estudio muestran que el tráfico se distribuye de la siguiente manera: 66,1 % en vehículos livianos, 10,4 % en vehículos pesados y 23,5 % en motos.

El nivel sonoro continuo equivalente ($L_{eq,A,1h}$) en la zona centro del municipio de Envigado puede ser descrito dentro de un rango de ajuste de ± 3 dBA mediante la expresión:

$$L_{eq} = 40,813 + 10,239 \log Q$$

Esta ecuación de predicción permite inferir que en la zona de estudio el valor medio del ruido de fondo es de aproximadamente 40,8 dBA.

6 Conclusiones

Los niveles de ruido ambiental medidos en los diferentes puntos evaluados en la zona céntrica del municipio de Envigado, el 85 % de los casos, sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en la legislación para zonas clasificadas como de uso comercial, el cual es de 70 dBA para la jornada diurna. El 15 % restante de los puntos evaluados, los niveles de ruido se encontraron muy cerca del límite establecido.

Para el caso de zonas de uso residencial, el 100 % de los puntos evaluados, se encuentran entre 5 dBA y 9 dBA por encima del valor máximo permisible de ruido ambiental (65 dBA) durante la jornada diurna.

Es evidente que los altos niveles de ruido ambiental en la zona centro del municipio de Envigado, son en un alto porcentaje responsabilidad del tráfico rodado. Lo anterior, permite concluir, que existe una delicada problemática de contaminación acústica en el sector.

El nivel promedio equivalente de ruido, en zonas urbanas caracterizadas por vías de alto flujo vehicular, puede ser estimado con una razonable buena aproximación, mediante la aplicación del modelo CLAMA, conociendo la cantidad y composición de la flota vehicular que por allí transite.

El modelo de predicción de ruido por tráfico vehicular —CLAMA— se constituye en una herramienta clave para la gestión del ruido en el municipio de Envigado y el direccionamiento de acciones para la mejora de la calidad acústica y la calidad de vida de la comunidad en general.

Reconocimientos

Los autores expresan un especial agradecimiento al Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental —GIGA— de la Universidad de Antioquia, a la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia —CORANTIOQUIA— y al Municipio de Envigado por su apoyo económico y administrativo, para el desarrollo y ejecución de este proyecto de investigación.

Referencias

- Acevedo, J. et al. El Ruido y su Relación con el tráfico en el Centro de Medellín. Medellín: Contaminación Ambiental, No. 4, CIDI, UPB, 1978. pp. 26-34.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). Elaboración de los Mapas Acústicos y de Concentración de Monóxido de Carbono para los Municipios de la Jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín: Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, 2005.
- Bedoya, Julian. et al. Análisis del Ruido en el Centro de la Ciudad de Medellín. Cali: 46 Congreso Sociedad, Ambiente y Futuro, ACODAL. 29 al 31 de Octubre del 2003. 12p.
- Brown, a. and Lam, K. C. Urban noise surveys. Applied Acoustic, Australia. 20, 1977.
- Cardona, L. et al. Evaluación de la Reducción de Emisiones Contaminantes Atmosféricos por las Nuevas Normas de Tránsito en la Ciudad de Medellín. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Mecánica, 1999.
- Cardona, Juan M. et al. Metodología para Evaluación del Ruido Ambiental Urbano en la Ciudad de Medellín. Medellín: Facultad Nacional de Salud Pública Héctor Abad Gómez, Universidad de Antioquia. 2005.
- Contraloría General de Medellín (CGM). Informe del Estado de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente del Municipio de Medellín. Medellín: 2006.
- Czabalay, L.; L. Sárvári. Comparison of prediction methods for road traffic noise. Archives of Acoustics. 10, 4, 327-334, 1985.
- Gaja Díaz. "Contribución al estudio de un modelo matemático sobre el ruido emitido por el tráfico urbano y los niveles de molestia en el municipio de Valencia". Tesis Doctoral. ETSII - UPV. 1984.
- García, Amando. Predicción de niveles de ruido ambiental producido por el tráfico rodado en zonas urbanas. Anales de Tecnicústica 95, pp 175-178, 1995
- González, E. Contaminación Sonora en ambiente urbano: Optimización del tiempo de muestreo en Montevideo y desarrollo de un modelo predictivo en un entorno atípico. Tesis Doctoral. Universidad de la República Oriental del Uruguay. Montevideo, Uruguay. 2000.
- Jraiw, Kadhim S. Prediction techniques for road transport noise (Leq) in built up areas. Proceedings of Inter-noise 86, pp.733-738, 1986.
- Lamure, C. Noise emitted by road traffic. In "Road traffic noise", Editors A.Alexandre, J-Ph. Barde, C. Lamure y F.G.Langdon. Applied Science Publishers, Londres, pp. 85-129. 1975.
- Montgomery, D. Runger, G. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería, Ed. McGraw Hill. 1996.
- Montbrun ET AL. A Mathematical Model for the Evaluation and Prediction of the Mean Energy Level of Traffic Noise in Caracas. Proceedings of Seattle ASA's Congress, 1998.
- Organización Mundial de la Salud. Guidelines for Community Noise. Ginebra, 1999 Disponible: <http://www.who.int/docstore/phe/noise/guidelines2.htm> [Citado 20 de septiembre de 2007].
- Prascevic, M.R.; D.S. Cvetkovic; V.O. Stojanovic. Mathematical models for describing road traffic noise. Proceedings of Inter-noise 97, pp. 895-898, 1997.
- Resolución 0627 DE 2006, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogota: 2006.
- Sánchez Rivera, J.I.; J. González Suárez; J. Arenas Bermúdez; V. Poblete. Modelo matemático para la medida del Leq en zonas urbanas de Chile. Anales de Tecnicústica 96, 4 pp., 1996
- Sattler, ET AL. Ruido de tráfico rodoviário: estimativas a partir do fluxo de veículos. Anales del I Congreso Iberoamericano de Acústica, pp. 519-522. 1998.
- Secretaría del Medio Ambiente de Medellín (SMAM). Efectos sobre la Salud de la Contaminación por Ruido y Monóxido de Carbono y Prevalencias de Síntomas Respiratorios en el Centro de Medellín: Facultad de Salud Pública, Universidad de Antioquia, 2005.
- Zannin, P. H. T., Calixto, A., Diniz, F. B., Ferreira, J. A. C. A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis. Environmental Impact Assessment Review 23, 2003.
- Czabalay, L.; L. Sárvári. Comparison of prediction methods for road traffic noise. Archives of Acoustics. 10, 4, 327-334, 1985.