

EFECTO DE LA VELOCIDAD EN LA CONTAMINACIÓN POR RUIDO DEL TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE TUNJA, COLOMBIA

J. R. Quintero González¹. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Recibido, Abril 27 de 2013 – Aceptado Agosto 1 de 2013

<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v7n2.a06>

Resumen- Se presenta un análisis de la influencia de la velocidad desarrollada por los vehículos, en la generación de elevados niveles de ruido vehicular en seis de los principales corredores viales de la ciudad de Tunja, Colombia. La metodología se basó en la medición de los niveles de ruido en diferentes horas del día y, la determinación de la velocidad media espacial, relacionándolos mediante un análisis de regresión, el cual permitió establecer que la variación de la velocidad media espacial desarrollada en los corredores viales estudiados podría explicar entre el 59,33% y el 77,86% la variación de los niveles de presión sonora en las principales vías de la ciudad de Tunja. Se concluye que existe una tendencia al incremento del ruido vehicular en relación con el aumento de la velocidad, para lo cual, se plantean algunos valores de reducción de velocidad en algunas vías de la ciudad.

Palabras clave- Ruido del tráfico, Velocidad espacial, Relación entre velocidad y ruido vehicular.

Abstract- An analysis of the influence of the speed developed by the vehicles, in the generation of high levels of vehicular noise in six of the main road corridors of the city of Tunja, Colombia, is presented. The methodology was based on the mensuration of the levels of noise in different hours of the day and, the determination of the spatial speed, relating them by means of a regression analysis, the one which it allowed to establish that the variation of the spatial speed developed in the road corridors studied could explain between 59,33% and 77,86% the variation of the levels of sound pressure in the main roads of the city of Tunja. Concludes that exists a tendency to the increment of the vehicular noise in connection with the increase of the speed, for that which, they think about some values of reduction of speed in some roads of the city.

Key words- Noise of traffic, Spatial speed, Relationship between speed and vehicular noise.

I. INTRODUCCIÓN

La velocidad es comúnmente asociada a la comodidad expresada por los usuarios al realizar un viaje, y ésta a su vez define atributos fundamentales para los usuarios como la seguridad, comodidad, el tiempo de viaje y algunos aspectos económicos. Es por esta razón que la velocidad es una de las variables más importantes y que se deben examinar con detalle en el estudio y entendimiento del fenómeno del tránsito. No obstante, desde el punto de vista de la contaminación por ruido, y de acuerdo con las consideraciones hechas por la Asociación de Ruido de Reino Unido (2009) [1] y Rodríguez et ál. (2010) [2] entre otros, las velocidades desarrolladas por los vehículos tienen un efecto directo en el aumento de los niveles de ruido incrementado a su vez los niveles de contaminación sonora en los corredores viales en una ciudad.

En relación con lo anterior, y con el objeto de atender la problemática del ruido del tráfico vehicular, una medida justa a plantearse es la disminución de la velocidad media en los corredores viales dentro del área urbana de la ciudad y aquellos localizados en su periferia. Esta estrategia y sus efectos han sido estudiados en detalle por autores como Andersen (2003) [3] y Ellebjerg (2008, 2007) [4], [5] en cuyas investigaciones se logró establecer que la reducción de la velocidad influía en forma positiva en la reducción de los niveles de ruido. De acuerdo con lo anterior, y con el objeto de comprender mejor el comportamiento del ruido vehicular influenciado por el efecto de la velocidad, en los apartes siguientes se muestra el análisis de la influencia de ésta última variable sobre los niveles de presión sonora encontrados en seis de los principales corredores viales de la ciudad de Tunja, Colombia.

II. METODOLOGÍA

A. Área de estudio; Ciudad de Tunja

De acuerdo con el Instituto Geofísico de la Universidad Javeriana (2000) [6] y la Alcaldía Mayor de la ciudad (2011) [7], Tunja, capital del Departamento de Boyacá, está ubicada en la Cordillera Oriental Colombiana, a los 05° 32' 07" de latitud norte y 73° 22'

¹ J. R. Quintero González. Ingeniero en Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja (Colombia). Magíster en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. E-mail: jrquintero.itv@gmail.com, julian.quintero@uptc.edu.co

04'' de longitud oeste, con alturas que van desde los 2700 m.s.n.m. hasta 3150 m.s.n.m. en la parte más elevada. Dista de Bogotá 123 km. y tiene una extensión de 121,4 km².

B. Sitios de estudio

La metodología propuesta consideró la medición y registro de los niveles de ruido producidos por el tráfico vehicular y la velocidad espacial en un punto específico

dentro los seis principales corredores viales de la ciudad; Avenida Suárez Rendón (al sur), Carrera 12 (en el centro), Carrera 9ª (centro), Avenida Oriental (en el centro-oriente), Avenida Maldonado (del centro hacia el norte), y la Avenida Norte (en el norte), los cuales fueron seleccionados atendiendo a la forma de la distribución espacial y configuración física del área urbana de la ciudad (Fig. 1), seleccionando para ello los puntos con condiciones desfavorables para la movilidad.

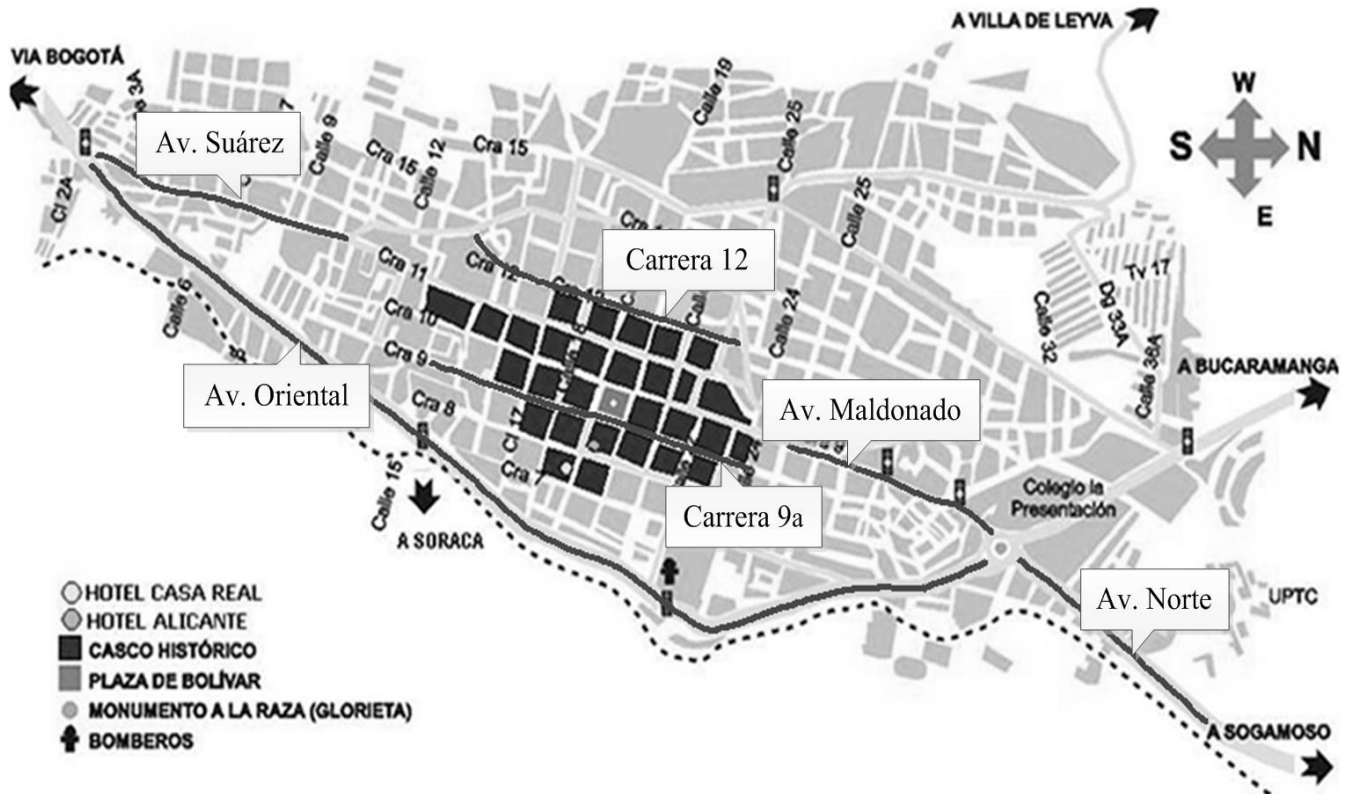


Fig. 1. Ubicación espacial corredores viales estudiados Tunja
Fuente: Quintero González, 2012 [8]

C. Horarios para registro de niveles de ruido

Se consideraron aquellos días que no se vieran sujetos a alteraciones de las condiciones de movilidad presentes; se seleccionaron en forma preliminar los días martes y jueves. Respecto a los horarios, se consideró la obtención de lecturas de ruido en diferentes periodos de tiempo, variando los periodos de medición para lograr una amplia cobertura a lo largo de todo el día; a partir de las 7:00 a.m. y hasta las 7:00 p.m. (TABLA I).

D. Medición de niveles de ruido

El instrumento más común utilizado en la medición de los niveles de presión sonora es el sonómetro, el cual

permite hacer una lectura directa del nivel de presión sonora (en decibeles (dB)), generado por una fuente generadora de ruido fija o móvil. Para la medición de los niveles de ruido vehicular se empleó el sonómetro de referencia modelo HD 600 de Extech Instruments (medidor digital de nivel de sonido con grabadora integral de datos), el cual y de acuerdo con las especificaciones del fabricante; Extech Instruments Corporation (2007) [9], se clasifica como de Tipo 2 de acuerdo con la TABLA II.

TABLA I.
RELACIÓN PUNTOS ESTUDIADOS Y HORARIOS

Corredor vial	Horario mediciones de presión sonora y estudios de tránsito
Avenida Suárez Rendón entre Calles 8 y 9	Horario 2 8:00 a.m. - 10:00 a.m. 12:00 m. - 2:00 p.m. 4:00 p.m. - 6:00 p.m.
Carrera 12 entre Calles 19 y 20	Horario 3 9:00 a.m. - 11:00 a.m. 1:00 p.m. - 3:00 p.m. 5:00 p.m. - 7:00 p.m.
Carrera 9 entre Calles 20 y 21	Horario 1 7:00 a.m. - 9:00 a.m. 11:00 a.m. - 1:00 p.m. 3:00 p.m. - 5:00 p.m.
Avenida Maldonado entre Calles 27 y 28	Horario 2 8:00 a.m. - 10:00 a.m. 12:00 m. - 2:00 p.m. 4:00 p.m. - 6:00 p.m.
Avenida Oriental entre Calles 23 y 24	Horario 1 7:00 a.m. - 9:00 a.m. 11:00 a.m. - 1:00 p.m. 3:00 p.m. - 5:00 p.m.
Avenida Norte entre Calles 46 y 47A	Horario 3 9:00 a.m. - 11:00 a.m. 1:00 p.m. - 3:00 p.m. 5:00 p.m. - 7:00 p.m.

Fuente: Quintero González, 2012 [8]

TABLA II.
TOLERANCIAS PERMITIDAS PARA TIPOS DE SONÓMETROS
DEFINIDOS POR LA IEC 60651 (MODIFICADA POR LA IEC
61672 2002 [10], 2003[11])

Clase	Calibradores (dB)	Sonómetros (dB)
0	+/- 0,15	+/- 0,4
1	+/- 0,3	+/- 0,7
2	+/- 0,5	+/- 1,0
3	Eliminada por la IEC 61672	+/- 1,5

Fuente: Documento soporte norma de ruido ambiental IDEAM, 2006 [12]

De acuerdo establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [13], las especificaciones técnicas del fabricante y considerando las características de las fuentes emisoras de ruido; vehículos automotores, además del objetivo del estudio se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones base para la medición de los niveles de presión sonora:

1) Escala de medición.

Entre 30 dBA y 130 dBA.

2) Ponderación de frecuencia.

Ponderación “A”, para la cual la frecuencia de respuesta de medidor es similar a la respuesta del oído humano. La “ponderación A” se usa comúnmente para programas ambientales o de conservación del oído tales como pruebas reglamentarias de la OSHA (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos de América) y cumplimiento de la normatividad vigente en cada región.

3) Tiempo de respuesta

El medidor permite realizar mediciones para dos tiempos de respuesta; Rápido (125ms) o Lento (1 segundo). Para las mediciones se seleccionó el tiempo de respuesta lento, el cual permite vigilar una fuente de ruido con un nivel de presión sonora razonablemente constante o para promediar niveles rápidamente cambiantes.

4) Condiciones ambientales

Humedad relativa: 90% máx. Temperatura de operación: 0 a 40°C (32 a 104°F).

5) Posición medidor sobre el corredor vial

Para la medición de niveles de ruido del tráfico vehicular se posicionó el medidor a 1,5 metros de distancia del flujo vehicular y a 1,20 m del piso.

6) Intervalo de medición

Aunque la norma nacional vigente para Colombia formula la utilización de intervalos de registro de las mediciones entre 10 y 15 seg., se consideró conveniente, y aprovechando las características del medidor empleado, realizar las mediciones con intervalos de tiempo de 1 seg., con lo cual se buscó además minimizar los errores estadísticos en el tratamiento de la información al contar con un registro ininterrumpido de niveles de presión sonora en la totalidad del trascurso del periodo de medición de dos (2) horas, obteniendo de esta manera más de 7.200 registros para dicho periodo de medición y cerca de 21.600 registros a lo largo del día para cada punto estudiado.

E. Medición de velocidades

El estudio de la velocidad proporciona información valiosa acerca de la distribución de velocidad en un lugar específico, en un momento determinado y bajo condiciones predominantes de tránsito y así poder relacionarla con el nivel de presión sonora. Sin embargo, y considerando las cambiantes condiciones de los flujos vehiculares y los sucesos del tránsito que podrían presentarse en los corredores viales; congestión, embotellamientos y detención total de los vehículos, que dificultan el registro de la velocidad de punto, se hizo necesario determinar la velocidad espacial para

minimizar la incertidumbre generada en las mediciones y la aparición de errores estadísticos, permitiendo relacionarla en forma más precisa con los niveles de ruido vehicular presentes en una vía urbana o carretera. Para la medición de la velocidad espacial, y teniendo en cuenta las características de los corredores viales estudiados; obtenidas mediante estudios de observación del tránsito y de categorización de la red vial, se consideró un tamaño de muestra de 200 observaciones distribuidas en forma equilibrada entre los dos sentidos de circulación en los corredores viales que presentaban dicha condición (Avenida Suárez, Carrera 12, Avenida Maldonado, Avenida Oriental y Avenida Norte). Para aquellas vías en las cuales solo se contó con un sentido de circulación (Carrera 9ª) se consideró un tamaño de muestra de 150 observaciones. La longitud base para el estudio y estimación de la velocidad espacial empleada tuvo un valor de 50 metros (base medida).

El valor de la velocidad espacial de un vehículo se obtiene dividiendo la distancia predefinida (en metros) entre el tiempo (en segundos y décimas de segundo) que tardó el vehículo en recorrer esta distancia. Con el objeto de comprender mejor el comportamiento de la velocidad espacial, y aplicando los conceptos básicos de la estadística descriptiva formulados por reconocidos autores como Montgomery y Runger (1996) [14], Johnson (1997) [15] y Walpole et ál. (1999) [16], se determinó el valor de las medidas de tendencia central (velocidad media espacial, velocidad modal, velocidad mediana) y las medidas de posición (percentiles 50, 85, 90 y 95), relacionadas con la velocidad espacial.

F. Relación entre niveles de ruido y velocidad

Para tal fin se planteó establecer la relación entre los niveles medios de presión sonora presentes en cada corredor vial y las velocidades medias espaciales calculadas a través de la fijación de las velocidades medias espaciales encontradas en la distribución de frecuencias de velocidad para cada corredor vial y los niveles de ruido característicos (nivel promedio ajustado) en cada sitio de estudio, relacionándolos mediante una regresión lineal y análisis de coeficiente de determinación, lo cual sirvió como punto de partida para el planteamiento de medidas de gestión de tráfico a partir del fijación de límites de velocidad.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Niveles de presión sonora

En la TABLA III se muestra una comparación entre los valores promedios máximos ajustados de ruido vehicular encontrados en cada corredor vial para cada horario de medición y los límites máximos permitidos por la Resolución 0627 de 2006, promulgada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2006) [13]. En ésta se puede observar que todos los niveles de ruido medidos en campo y ajustados exceden los niveles de ruido admisibles de acuerdo a la clasificación por tipo de sector (consignada en la resolución 0627 2006) que se propone para cada corredor vial, la cual se fundamentó en el análisis de criterios como la existencia cercana de áreas residenciales, instituciones de educación, edificios gubernamentales, áreas comerciales y zonas industriales.

TABLA III.
COMPARACIÓN NIVELES DE RUIDO EN CORREDORES VIALES Y NIVELES PERMISIBLES RESOLUCIÓN 0627 MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

Corredor vial	Horario mediciones de presión sonora	Niveles de presión sonora dBA	Niveles permisibles Resolución 0627 dBA
Avenida Suárez Rendón entre Calles 8 y 9	8:00 a.m. - 10:00 a.m.	72,89	70,00 (Sector C)
	12:00 m. - 2:00 p.m.	75,23	
	4:00 p.m. - 6:00 p.m.	72,32	
Carrera 12 entre Calles 19 y 20	9:00 a.m. - 11:00 a.m.	76,65	65,00 (Sector B)
	1:00 p.m. - 3:00 p.m.	79,22	
	5:00 p.m. - 7:00 p.m.	77,36	
Carrera 9 entre Calles 20 y 21 (Juzgados)	7:00 a.m. - 9:00 a.m.	75,48	65,00 (Sector C)
	11:00 a.m. - 1:00 p.m.	71,98	
	3:00 p.m. - 5:00 p.m.	72,88	
Avenida Maldonado entre Calles 27 y 28	8:00 a.m. - 10:00 a.m.	78,07	70,00 (Sector C)
	12:00 m. - 2:00 p.m.	79,86	
	4:00 p.m. - 6:00 p.m.	80,81	
Avenida Oriental entre Calles 23 y 24 (Bomberos)	7:00 a.m. - 9:00 a.m.	74,87	65,00 (Sector B)
	11:00 a.m. - 1:00 p.m.	73,65	
	3:00 p.m. - 5:00 p.m.	78,06	
Avenida Norte entre Calles 46 y 47A	9:00 a.m. - 11:00 a.m.	75,49	70,00 (Sector C)
	1:00 p.m. - 3:00 p.m.	74,25	
	5:00 p.m. - 7:00 p.m.	74,87	

Fuente: Quintero González, 2012 [8].

B. Velocidad media espacial

En la TABLA IV se presentan los valores estimados para las diferentes medidas de tendencia central planteadas en la metodología propuesta; velocidad media espacial, mediana y modal. Al confrontar los valores de velocidad media espacial con los niveles de ruido promedio en cada corredor vial no se logra vislumbrar en forma clara si existe relación o tendencia alguna, sin embargo, al contrastar los niveles de ruido con el valor de la pendiente longitudinal de la vía se puede observar que en gran parte de los casos los niveles de ruido más altos se presentan cuando la pendiente de la vía es positiva

(desfavorable para los vehículos), la cual, al ser comparada con las velocidades espaciales permite apreciar que para pendientes importantes (sean positivas o negativas) se generan velocidades mayores con el objeto de contrarrestar el efecto de la pendiente cuando esta es positiva (desfavorable) y para aprovecharla cuando es favorable (negativa); en los dos casos, al aumentar la velocidad de marcha de los vehículos se genera un aumento en el nivel de presión sonora inducido por la aceleración del motor de los vehículos.

TABLA IV.
VELOCIDADES ESPACIALES, VELOCIDAD MEDIANA, VELOCIDAD MODAL Y NIVELES DE RUIDO

Corredor vial	Sentido de circulación	Pendiente longitudinal %	Niveles de presión sonora máximos ajustados dBA	Velocidad media espacial km/h	Velocidad mediana km/h	Velocidad modal km/h
Avenida Suárez Rendón entre Calles 8 y 9	Norte-sur	1,0	75,23	18,10	17,69	17,04
	Sur-norte	-1,0	72,89	19,04	18,22	16,00
Carrera 12 entre Calles 19 y 20	Norte-sur	1,0	79,22	17,45	17,00	16,72
	Sur-norte	-1,0	77,36	11,73	10,50	8,34
Carrera 9 entre Calles 20 y 21 (Juzgados)	Norte-sur	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
	Sur-norte	-5,0	75,48	13,60	12,78	11,31
Avenida Maldonado entre Calles 27 y 28	Norte-sur	6,0	80,81	28,80	29,24	30,44
	Sur-norte	-6,0	79,86	27,75	27,45	24,50
Avenida Oriental entre Calles 23 y 24	Norte-sur	1,7	78,06	54,99	54,26	53,10
	Sur-norte	-1,7	74,87	61,96	61,78	61,44
Avenida Norte entre Calles 46 y 47A	Norte-sur	1,0	75,49	36,96	37,06	37,00
	Sur-norte	-1,0	74,25	39,18	38,87	35,20

Fuente: Quintero González, 2012 [8].

De otra parte, en la TABLA V se presentan los valores estimados para las diferentes medidas de posición planteadas en la metodología propuesta; percentil 50, percentil 85, percentil 90 y percentil 98. En la tabla se puede observar que sobre la Avenida Oriental en sentido de circulación sur-norte, se excede en forma moderada el límite de velocidad (60 km/h) establecido por el Ministerio de Transporte en el Código Nacional de Tránsito Terrestre (2002) para vías urbanas [17].

Sin embargo, en el mismo código se aclara que de acuerdo con la separación entre dos vehículos la velocidad máxima puede reducirse hasta 30,0 km/h (para una separación entre vehículos de 10 m) en área urbana, esta consideración podría aplicarse a los corredores viales en los cuales el 85% (Percentil 85) de los usuarios desarrollan velocidades espaciales por debajo de 35,50 km/h (Avenida Maldonado), 76,33 km/h (Avenida Oriental) y 47,75 km/h (Avenida Norte), y de los cuales un porcentaje importante (cerca del 35%) están por encima de 30 km/h.

TABLA V.
PERCENTILES VELOCIDADES ESPACIALES PROMEDIO
POR SENTIDO CORREDORES VIALES ESTUDIADOS

Corredor vial	Sentido de circulación	Percentil 50 km/h	Percentil 85 km/h	Percentil 90 km/h	Percentil 98 km/h
Avenida Suárez Rendón entre Calles 8 y 9	Norte-sur	17,69	23,15	24,83	31,50
	Sur-norte	18,22	25,67	27,33	33,33
Carrera 12 entre Calles 19 y 20	Norte-sur	17,00	22,89	24,21	35,00
	Sur-norte	10,50	18,47	19,61	29,25
Carrera 9 entre Calles 20 y 21 (Juzgados)	Sur-norte	12,78	21,13	23,00	36,00
Avenida Maldonado entre Calles 27 y 28	Norte-sur	29,24	35,50	37,17	42,50
	Sur-norte	27,45	35,41	36,50	44,00
Avenida Oriental entre Calles 23 y 24	Norte-sur	54,26	64,64	68,73	70,20
	Sur-norte	61,78	76,33	78,95	91,00
Avenida Norte entre Calles 46 y 47A	Norte-sur	37,06	44,54	46,64	51,00
	Sur-norte	38,87	47,75	51,00	58,00

Fuente: Quintero González, 2012 [8].

TABLA VI.
RESUMEN DE RESULTADOS REGRESIÓN LINEAL
VELOCIDAD-RUIDO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,8823707
Coefficiente de determinación R ²	0,77857805
R ² ajustado	0,66746694
Error típico	17,4332228
Observaciones	10

Fuente: Quintero González, 2012 [8].

Analizando el percentil 90, se puede establecer que del 90% de los vehículos que registraron velocidades por debajo de 68,73 km/h (norte-sur) y 78,95 km/h (norte-sur) en cada sentido de circulación sobre la Avenida Oriental, cerca del 40% en sentido sur-norte exceden el límite de velocidad permitido lo cual representa una problemática que puede incidir en la generación de elevados niveles de ruido vehicular en el corredor mencionado.

C. Relación entre niveles de ruido y velocidad

Para el análisis de incidencia de la velocidad media espacial en la generación de los niveles de presión sonora se elaboró una regresión lineal con un nivel de confianza del 95% (significancia del 5%, $\alpha=0,05$). Al observar los resultados (Tabla VI), y de acuerdo con el coeficiente de determinación R² (0,77857805) encontrado, entendido como el porcentaje de variación de la variable dependiente explicado por la variable independiente en el modelo de regresión lineal, se puede señalar que aproximadamente el 77,86% de la variación de los niveles de presión sonora se explica por medio de la velocidad media espacial en cada corredor vial, con un buen ajuste del modelo lineal.

Al representar gráficamente la relación del ruido vehicular promedio frente a la velocidad media espacial se puede observar que aunque el comportamiento del nivel de presión sonora es variable, se presenta cierta tendencia al incremento del ruido vehicular en relación con el aumento de la velocidad. Al dibujar la línea de tendencia para la relación, se encontró que el modelo exponencial presentaba el mejor ajuste con un coeficiente de determinación R² (0,5933), el cual representa un ajuste aceptable del modelo exponencial, con el cual se sugiere que cerca del 59,33% de la variación de los niveles de presión sonora se explica por medio de la velocidad media espacial en cada corredor vial (Fig. 2).

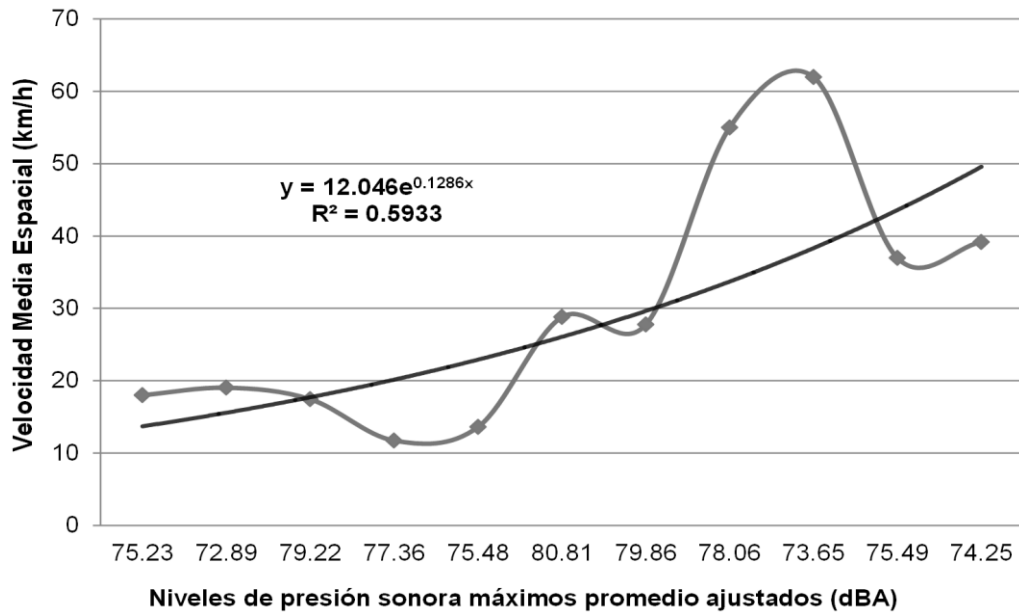


Fig. 2. Relación nivel de presión sonora máximo promedio-velocidad media espacial
Fuente: Quintero González, 2012 [8].

IV. DISCUSIÓN

Como se observó en el análisis de incidencia (Fig. 2), el incremento en la velocidad tienen un efecto casi directo en la generación de niveles de ruido más altos, razón por la cual, y teniendo en cuenta los resultados mostrados en las TABLAS IV (Velocidad media espacial) y V (Percentil 90 velocidad espacial) relacionados con la velocidad media espacial en los principales ejes viales de la ciudad, es fácil observar que los corredores de la Avenida Maldonado, Avenida

Oriental y Avenida Norte podrían ser intervenidos a través de medidas de reducción de velocidad, para lo cual, a continuación se muestran los valores de velocidad recomendados para la reducción de ruido vehicular (Tabla VII), con los cuales, se esperaría, basado en las investigaciones de Andersen (2003) [3] y Ellebjerg (2008, 2007) [4], [5], que se presentará una reducción de entre 1,4 dBA y 3,6 dBA, valores que resultan significativos en relación con los niveles de presión sonora actuales (Tabla IV) presentes en dichos corredores.

TABLA VII.
VALORES DE VELOCIDAD RECOMENDADOS PARA REDUCCIÓN DE RUIDO VEHICULAR

Corredor vial	Sentido de circulación	Reducción en la velocidad (km/h)	Reducción del ruido vehículos ligeros LAeq (dBA)	Reducción del ruido vehículos pesados LAeq (dBA)
Avenida Maldonado	Norte-sur	37,17 a 30	3,6	2,7
	Sur-norte	36,50 a 30	3,6	2,7
Avenida Oriental	Norte-sur	68,73 a 60	1,9	1,4
	Sur-norte	78,95 a 60	3,6	2,6
Avenida Norte	Norte-sur	46,64 a 40	2,8	2,1
	Sur-norte	51,00 a 40	2,8	2,1

Fuente: Quintero González, 2012 [8].

V. CONCLUSIONES

Estudios realizados por diversos autores sugieren que la reducción de la velocidad, vista como una estrategia para disminuir los niveles de contaminación por ruido del tráfico vehicular, puede arrojar buenos resultados,

indicando que reducciones de la velocidad; distribuidas en intervalos de 10 km/h entre los 130 km/h y los 30 km/h, podrían disminuir el nivel de presión sonora en 1,0

dBa y hasta 3,6 dBA en vehículos ligeros y, en 1,0 dBA y hasta 2,7 dBA en vehículos pesados.

Los resultados del análisis de incidencia de la velocidad espacial en la generación de ruido vehicular permiten indicar, con un nivel de confianza del 95%, que la variación de la velocidad media espacial desarrollada en los corredores viales estudiados podría explicar en un 77,86% la variación de los niveles de presión sonora en las principales vías de la ciudad de Tunja, encontrando que el aumento en la velocidad ocasiona un incremento en el ruido vehicular, debido previsiblemente a la aceleración y deceleración de los vehículos que conlleva a la generación de niveles de ruido más altos producidos por su motor.

El análisis gráfico de la relación entre los niveles de presión sonora y la velocidad media espacial presentes en los corredores viales estudiados, permite concluir que existe una tendencia al incremento del ruido vehicular en relación con el aumento de la velocidad, para la cual, el modelo de regresión exponencial es el que más se ajusta a dicha relación, señalando que cerca del 59,33% de la variación de los niveles de presión sonora se explica por medio de la velocidad media espacial en las principales vías de la ciudad de Tunja.

De las características físicas y geométricas de los corredores viales se puede plantear que la pendiente longitudinal de la calzada induce efectos en los vehículos, ocasionado que su motor deba generar más potencia para sobreponerse al efecto de la pendiente, tanto en el ascenso, como en el descenso al frenar, generando niveles de ruido más altos y molestos para los transeúntes.

Los valores de reducción de velocidad recomendados, apoyados en las investigaciones realizadas por autores como Andersen (2003) y Ellebjerg (2007, 2008), sugieren una posible disminución de los niveles de ruido del tráfico vehicular en la ciudad de Tunja, de entre 1,9 dBA y 3,6 dBA para vehículos ligeros y, 1,4 dBA y 2,7 dBA para vehículos pesados, con reducciones en la velocidad que llegan hasta los 30 km/h, 40 km/h y 50 km/h para los corredores viales de la Avenida Maldonado, Avenida Norte y Avenida Oriental respectivamente.

REFERENCIAS

- [1] P., Mitchell. *Speed and road traffic noise: the role that lower speeds could play in cutting noise from traffic*. UK Noise Association. December 2009. p 3-11.
- [2] F., Rodrigues; C., Resende; C. D., Nassi and S., Kahn. *Traffic engineering indicators analysis as explanatory variables of traffic noise*. Inter-noise 2010: noise and sustainability, 15-16 June 2010. Lisbon, Portugal. 10 p.
- [3] B., Andersen. *Støjuddelse fra biler på vejnettet*. Report 2. Danish Transport Research Institute. Kgs. Lyngby: July 2003. 62 p.

- [4] L., Ellebjerg. *Basic traffic - noise relations*. Sixth framework programme priority 6, Sustainable Development, Global Change & Ecosystems, Integrated project – contract No. 516288. Noise Reduction in Urban Areas from Traffic and Driver Management. WP H.1 Methods for Noise Control by Traffic Management. SILENCE. 2008, p 11.
- [5] L., Ellebjerg. *The role of traffic flow and traffic calming measures*. Results of SILENCE WP H1, Danish Road Institute. Training Workshop. Warsaw, 14 November 2007. p 4.
- [6] Instituto Geofísico Universidad Javeriana. *Microzonificación sísmica preliminar de Tunja*. Convenio estudios de amenaza y microzonificación sísmica, vulnerabilidad estructural y evaluación de escenarios de daño. Instituto Geofísico Universidad Javeriana, Consultoría Colombiana s.a. Bogotá, Colombia. 2000, p 4.32 p.
- [7] Alcaldía Mayor de la Ciudad de Tunja. *Localización*. Consultada en diciembre de 2012. En: <http://www.tunja.gov.co>
- [8] J. R., Quintero González. *Formulación plan estratégico para el control de la contaminación acústica vehicular – caso de estudio Tunja*. En proceso de publicación. Trabajo de grado. Grupo de Investigación y Desarrollo en Planeación y Operación del Transporte GIDPOT, Maestría en Ingeniería Ambiental, Escuela de Postgrados de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia, 2012, 192 p.
- [9] Extech Instruments Corporation. *Manual de usuario extech instruments sonómetro modelo HD 600*. Medidor digital de nivel de sonido con grabadora integral de datos HD600 V1.2., 2007, p 5.
- [10] International Electrotechnical Commission IEC. *International Standard IEC 61672-1. First edition 2002-05*. Electroacoustics, Sound level meters. Part 1: specifications. Switzerland, 2002, p 1-7.
- [11] International Electrotechnical Commission IEC. *International Standard IEC 61672-2. First edition 2003.04*. Electroacoustics, Sound level meters. Part 2: pattern evaluation tests. Switzerland, 2003, p 1-8.
- [12] Ideam, Subdirección de Estudios Ambientales. *Documento soporte norma de ruido ambiental*. Convenio de asociación No. 038/04 (Numeración MAVDT) - 112/04 (Numeración IDEAM). Bogotá, Colombia, 2006, p. 160.
- [13] República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Resolución 0627 del 7 de Abril de 2006: por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental*. Bogotá, Colombia, 2006, p 1-11, p 12-17, p 20. 30 p.
- [14] D. C., Montgomery y G. C., Runger. *Probabilidad y estadística aplicadas a ingeniería*. Mc Graw Hill. México, 1996, p. 16.
- [15] R. A., Johnson. *Probabilidad y estadística para ingenieros de Miller y Freund*. Quinta edición. Prentice Hall. México, 1997, p. 25.
- [16] R. E., Walpole; R. H., Myers S. L., Myers. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Sexta edición, Prentice Hall. México, 1999, p. 4-7.
- [17] República de Colombia. Ministerio de Transporte. *Código nacional de tránsito terrestre. Ley 769 de Agosto 6 de 2002: por el cual se expide el código nacional de tránsito terrestre y se dictan otras disposiciones*. Artículo 106: límites de velocidad. Ministerio de Transporte. Bogotá, Colombia, 2002, p. 51.

BIOGRAFÍA



Ingeniero en Transporte y Vías de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Diplomado en Inducción a la Educación Superior de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja (Colombia).

Especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja (Colombia). Magíster en Ingeniería Ambiental de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Con experiencia en el campo de la Interventoría, Ejecución, Conservación y Mantenimiento de Proyectos de Infraestructura Vial, Coordinación, Administración y Ejecución de Obras Viales para el Mantenimiento de Sistemas de Transporte de Hidrocarburos, Planeación de Sistemas de Transporte Sostenible y Desarrollo de Proyectos en los campos de Ingeniería Civil, Urbanismo, Transporte y Medio Ambiente.