



ANÁLISIS PREDICTIVO DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA APLICADOS AL TRÁFICO VEHICULAR, RELACIÓN ENTRE UN MODELO TEÓRICO Y UNO COMPUTACIONAL

PACS: 43.50.Lj

V.J. Muñoz Yi^a, J.R. Caballero^b, L.E. Casas^c

^a Departamento de Ing. Mecánica, Universidad Del Norte
km 5 Vía Pto. Colombia, AA. 51820, Barranquilla, Colombia.

E-mail: ymunoz@uninorte.edu.co

^{b, c} Departamento de Ingeniería Mecánica,
Universidad Del Norte, km 5 Vía Pto. Colombia,
Barranquilla, Colombia.

ABSTRACT

Control and evaluation of environmental impact on roads infrastructure is relatively recent in developing countries and world trend points out at incorporating environmental impact studies in territorial ordering plans, and the availability of environmental tools allowing the development of preventive/corrective/follow up plans, programs and projects in order to identify potential sources generated by future urban projects on the environment. Due to the importance of acoustic pollution on urban environment, the Ministry of Environment, Housing and Territorial development, MAVDT, issued resolution 0627 of April 7, 2006, aimed at establishing noise maximum levels and making noise maps by environmental authorities.

A noise prediction model of cars on the road is a tool that permits to determine sound intensity levels and to simulate several adverse and favorable situations that will be produced on a heavy traffic way or a modification to an existent way.

In this study, a comparison of the results given by a theoretical model and a computational one will be carried out. This comparison will permit us to validate the theoretical model and to recognize the percentage deviation among its estimated sound intensities. A correlation between Colombian present normativity and another German normativity RLS900 will be established in order to know the existent deviation with legal permissible levels. Computational modeling will also permit us to predict the noise generated by the increase of vehicle flow and to give recommendations to reduce acoustic contamination in the urban sector.

Key words: Noise, acoustic contamination, isophonic curves, decibells, sounds level, acoustic modeling

RESUMEN

El control y la evaluación del impacto ambiental en la infraestructura vial es relativamente reciente en los países en vía de desarrollo y la tendencia mundial apunta en la incorporación de los estudios de impacto ambiental dentro de los planes de ordenamiento territorial y la disponibilidad de herramientas ambientales que permitan desarrollar los planes, programas y proyectos preventivos correctivos o de

seguimiento con el fin de identificar las fuentes generadoras potenciales que futuros proyectos urbanos generarían en el medio ambiente.

Un modelo de predicción de ruido del parque vehicular es una herramienta que permite determinar los niveles de intensidades sonoras y simular varias situaciones adversas y favorables que se producirán en una vía de circulación de tráfico rodado o bien una modificación a una vía existente.

En este estudio se realizará una comparación de los resultados arrojados por un modelo teórico y uno computacional, la cual nos permitirá validar el modelo teórico y reconocer la desviación porcentual entre sus intensidades sonoras calculadas. Con los resultados obtenidos se realizará una correlación con la normatividad vigente colombiana y otra norma alemana RLS90 con el fin de conocer la desviación existente con los niveles permisibles legales. La modelación computacional también nos permitirá predecir el ruido generado por el crecimiento del flujo vehicular y realizar recomendaciones para reducir la contaminación acústica en el sector urbano.

KEYWORDS: Ruido, contaminación acústica, modelación acústica

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, debido al rápido crecimiento demográfico y de las necesidades de transporte de la población, se ha producido un crecimiento aforado del Parque automotor, constituyéndose este como uno de los principales contaminantes del aire Urbano. El mayor porcentaje de contaminación sonora, proviene de fuentes móviles, las cuales tienen una incidencia directa en el entorno circundante y a la salud de la población. La magnitud de tales efectos depende de la concentración de vehículos en un punto dado, del flujo de vehículos que está circulando en un instante determinado y al nivel de intensidad sonora promedio de exposición de las fuentes emisora.

Con el propósito de diagnosticar y evaluar la contaminación sonora en las intersecciones de una vía, se implementó un modelo matemático de control de ruido existente[4], al cual se le realizaron modificaciones en las variables y constantes que contribuyen al flujo vehicular y posteriormente se comparó con los datos obtenidos de un modelo computacional para ruido ambiental. Dichos cálculos podrán medirnos el grado de contaminación sonora que tiene una vía existente ó predecir el grado de impacto acústico en la etapa de diseño. Estos datos servirán como indicadores predictivos para toma de decisiones en la fase de planeación y ejecución de los diseños de las vías ó modificaciones de circulación del tráfico rodado.

2. METODOLOGIA

Para la realización del presente proyecto se llevó una salida de campo para monitorear el flujo vehicular existente y la arquitectura de la zona con sus respectivas medidas reales, esto con el fin de ver realmente el alcance de las mediciones y requisito fundamental para la modelación teórica y computacional.

Para realizar un estudio sobre contaminación acústica generada por fuentes móviles, es necesario seguir el siguiente orden:

- Identificación del área de estudio. (Plano digital de la zona georeferenciado).
- Diagramación de cuadrículas a escala del perfil de planta.
- Definición del número de muestro y número de muestras a tomar.
- Toma de mediciones en situ.
- Cálculo de intensidades sonoras totales.
- Cálculo de las velocidades de los vehículos y flujo vehicular.
- Cálculo de los niveles de intensidades equivalentes en el perfil de planta y frontal.
- Análisis de los resultados.

Entre los puntos más importantes a seguir figuran:

2.1 EQUIPO DE MEDICIONES

Para las mediciones del ruido se utilizó un sonómetro electrónico digital que mide el nivel de presión sonora (NPS) en el tiempo en decibelios con referencia a 2×10^{-5} microbar, con función de integración y analizador de frecuencias. El sonómetro es de tipo 2, marca Quest Technologies 2900.

2.2 PERIODO DE MUESTREO Y NÚMERO DE MUESTRAS A TOMAR

Con base al plano digital de la zona de estudio, se elaboró el procedimiento de muestreo. Los datos de campo se tomaron durante 6 días continuos. Las mediciones del plano de planta y del plano de perfil se tomaron simultáneamente. Como no se conoce la evolución del tráfico en la zona, todas estas mediciones tuvieron una duración de 1 hora.

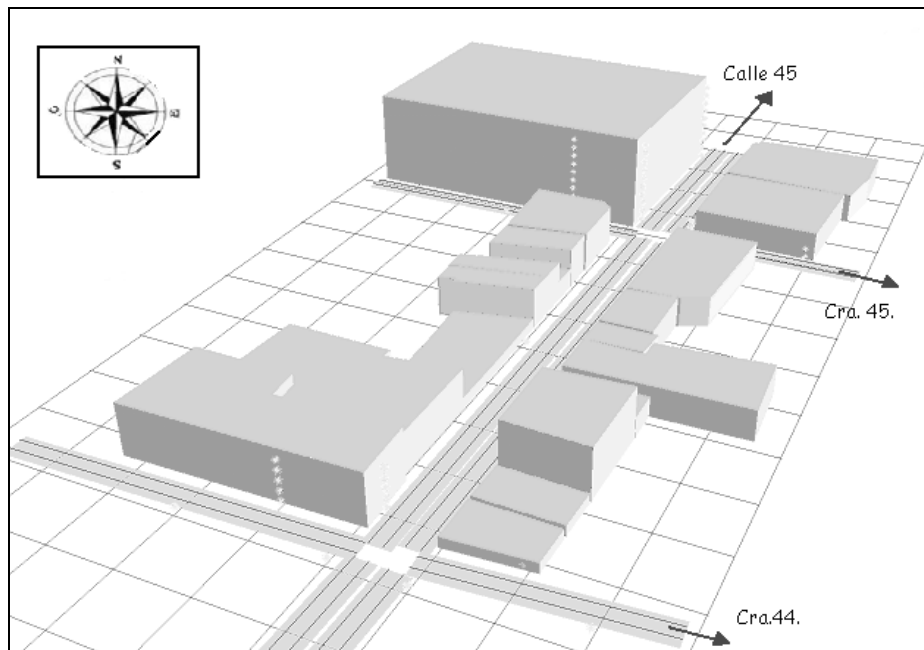


Figura 1: Zona de estudio: Cll.45 entre cr.45 y 44. [1]

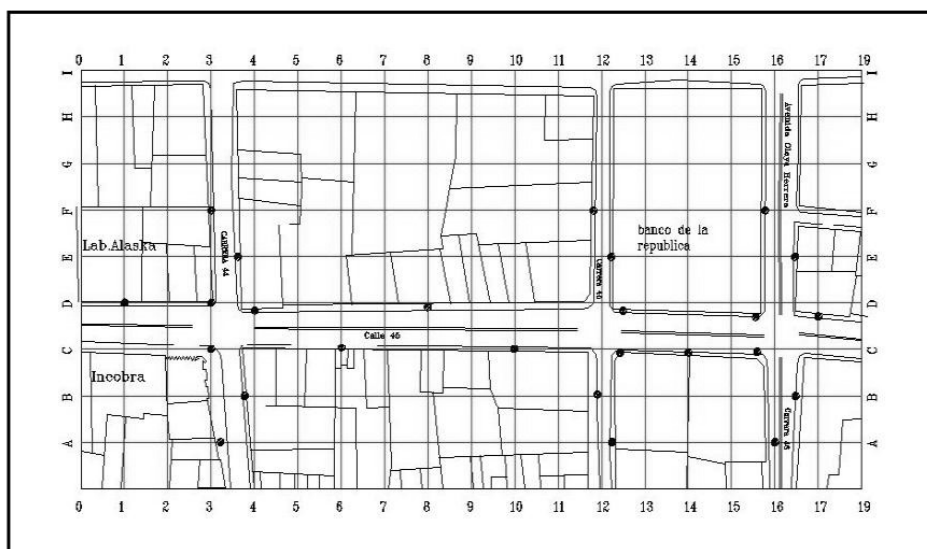


Figura 2: Perfil de planta con su cuadrícula y los puntos de medición

2.3. FLUJO VEHICULAR

Para el análisis del flujo vehicular en las secciones de estudio se hizo necesario la verificación de los patrones de flujo, por medio de la medición del tránsito automotor, tomándose patrones de medida de una hora durante tres días, en los que se midió el flujo vehicular para las entre las 7:00 AM a 7:00 PM.

En la Fig. 3 podemos encontrar la medición de las intensidades sonoras tomadas, entre las 14:47 y 16:44 horas, en uno de los puntos de muestreos de la zona de estudio.

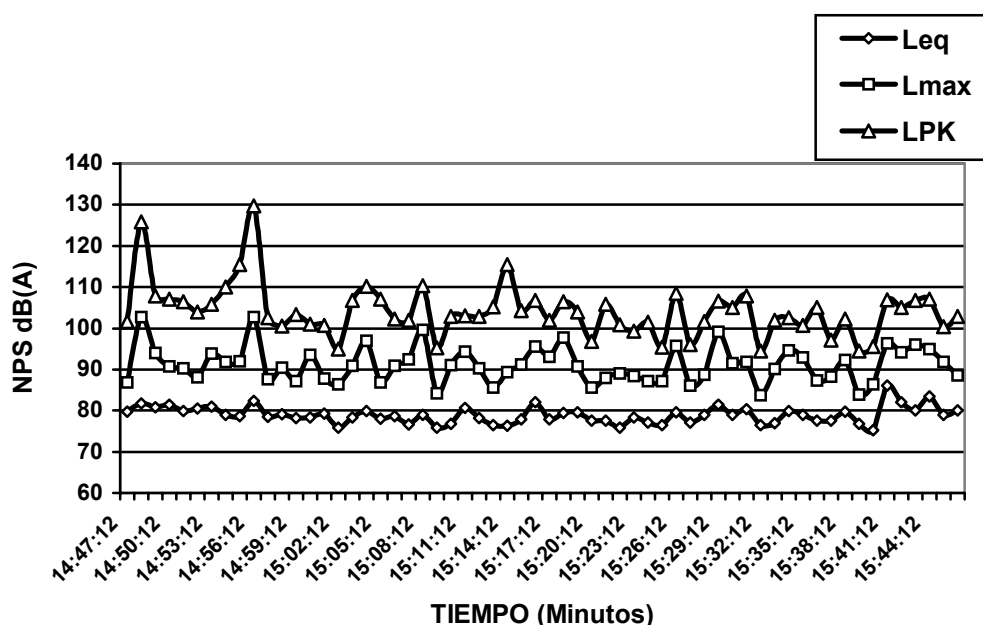


Figura 3: Variación del NPS en el tiempo (Punto D16), proyecto Murillo [5]

Dentro de este estudio hay que resaltar que para la evaluación del flujo vehicular se seleccionan las normas RLS90 [2], para el control de los niveles de emisión en áreas residenciales, debido a que esta norma es la más cercana a las normas Colombianas emitidas por el Ministerio de Salud, y para la evaluación de las emisiones producidas por el tráfico se seleccionó la norma DIN 18005 [3], como Gravamen de medición, la cual trabaja con límites de 55/45 dB(A) (Día / Noche) para áreas residenciales y de 65/55 dB(A) para distritos de negocios.

Tabla 1: Flujo vehicular, en tramos del sector de estudio

TRAMOS (ZONA DE ESTUDIO)	TOTAL FLUJO VEHICULAR POR TRAMOS Veh./día
Calle 45 (Murillo) entre carreras 43-44 zona izquierda.	15.821,27
Calle 45 (Murillo) entre carreras 44-45 zona izquierda.	16.376,08
Calle 45 (Murillo) entre carreras 45-46 zona izquierda.	11.167,95
Calle 45 (Murillo) entre carreras 43-44 zona derecha.	17.074,08
Calle 45 (Murillo) entre carreras 44-45 zona derecha.	13.727,27
Calle 45 (Murillo) entre carreras 45-46 zona derecha.	14.174,71
Carrera 44 entre calles 46-45.	20.814,63
Carrera 44 entre calles 45-44.	17.718,39
Carrera 45 entre calles 46-45.	10.738,42
Carrera 45 entre calles 45-44.	10.255,19

Fuente: Cálculo del flujo vehicular en el Proyecto Murillo

2.4 CÁLCULO DE LOS NIVELES TOTALES SONOROS

El cálculo teórico del nivel equivalente o total de 1 hora correspondiente a cada tipo de vehículo (L_{eq}) se evalúa sumando aritméticamente el valor de referencia de distintas correcciones [4]:

$$L_{eq} = [(L_o)E]_i + (\Delta_{trafico})_i + (\Delta_{trafico})_i + (\Delta_{misceláneos})_i - (\Delta_{Barrera})_i \quad (1)$$

Para la corrección de la intensidad de tráfico se realiza un ajuste del nivel equivalente de interferencia, considerando la intensidad total o los volúmenes vehiculares en el periodo de tiempo de una hora:

$$(\Delta_{trafico})_i = 10 \log(N_i d_o / V_i) - 25 \text{ db}(A) \quad (2)$$

Donde:

N_i = intensidad horaria de vehículos de tipo i, vehículos/hora

d_o = distancia de referencia de 15m

V_i = Velocidad del tipo de vehículo i, Km/hr.

Para la determinación de los L_{eq} del perfil de planta, se deben hallar los niveles producidos por cada una de las fuentes, teniendo en cuenta un área de influencia de 100m a la redonda y las situaciones particulares modelizadas de dichas fuentes.

2.5 Modelación en el software:

Con los datos obtenidos en el muestreo de la zona de estudio, se procedió a realizar la modelación con el software SoundPlan ver.6.2.

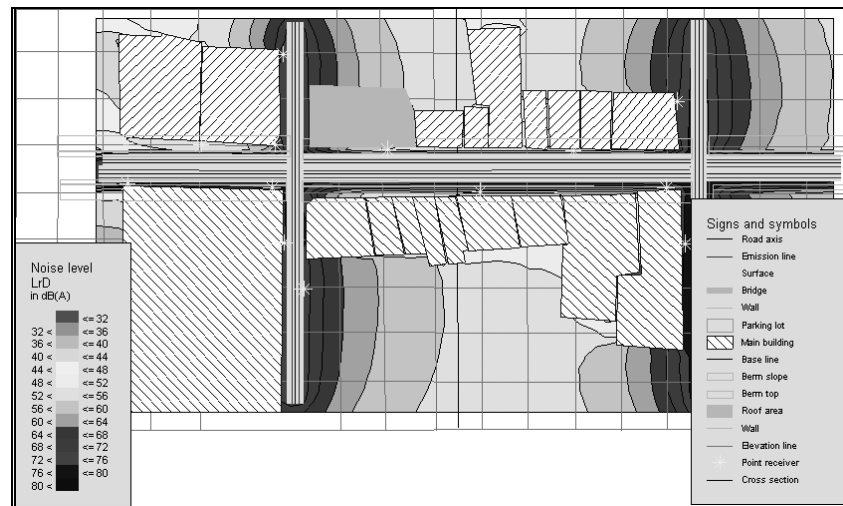

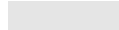


Figura 4: Curvas isofónicas en el sector de estudio. [1]

En la siguiente tabla se puede apreciar las intensidades sonoras para el día y noche, la norma vigente (límite Norma LrD y LrN respectivamente) y el nivel de intensidad sonora equivalente (Lr):

Tabla 2: Resultados de la contaminación acústica en el sector de la murillo, según los puntos de medida

RESULTADOS DE LOS NIVELES SONOROS (SOFTWARE SOUNDPLAN V.6.2)								
				límites		Nivel		
Floor	Object number	Name	Usage	LrD,	LrN,	LrD	LrN	Lr
1	14	A12	WA	55	45	72,9	62,7	71,3
1	15	B4	WA	55	45	72,6	62,4	71,1
1	4	C10	WA	55	45	57,5	47,2	55,9
1	10	C12	WA	55	45	75,6	65,4	74
1	11	C14	WA	55	45	74,8	64,5	73,2
1	12	C16	WA	55	45	72,5	62,3	70,9
1	3	C6	WA	55	45	56,4	46,2	54,9
1	7	D12	WA	55	45	77,2	67	75,6
1	8	D16	WA	55	45	77,5	67,2	75,9
1	1	D4	WA	55	45	75,8	65,6	74,2
1	2	D8	WA	55	45	73,6	63,4	72
1	6	E12	WA	55	45	75,1	64,9	73,5
1	16	E4	WA	55	45	76	65,8	74,4
1	5	F11	WA	55	45	74,7	64,5	73,1
1	9	F16	WA	55	45	52,4	42,2	50,9
TOTAL INTENSIDADES						73	62	71

 Punto de Medida que se encuentra por debajo de la Norma.
 Niveles sonoros equivalentes para el día y la noche

Luego se procedió a realizar un análisis comparativo entre los datos calculados por el modelo teórico y los generados con el software SounPlan v. 6.2, y su comparación con la norma vigente

Tabla 3: Resultados de las intensidades sonoras con relación a la normatividad nacional y alemana.

	2003 [6]	2005	RLS90	RLS90	RESOLUCION No. 08321*	RESOLUCION No. 08321*
PUNTO	Leq	Leq	Leq DIA	Leq NOCHE	Leq DIA	Leq NOCHE
MEDICION	dB(A)	dB(A)	DB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
A12	77.5	71.3	55	45	65	45
B4	81.2	71.1	55	45	65	45
C10	79.7	55.9	55	45	65	45
C12	82.5	74	55	45	65	45
C14	65.5	73.2	55	45	65	45
C16	66.6	70.9	55	45	65	45
C6	82	54.9	55	45	65	45
D12	80.5	75.6	55	45	65	45
D16	75.5	75.9	55	45	65	45
D4	70.7	74.2	55	45	65	45
D8	65.8	72	55	45	65	45
E12	70.9	73.5	55	45	65	45
E4	68.5	74.4	55	45	65	45

F11	64.2	73.1	55	45	65	45
F16	78.9	50.9	55	45	65	45
	74	71	TOTAL INTENSIDADES			

*. Resolución No. 08321 zona residencial

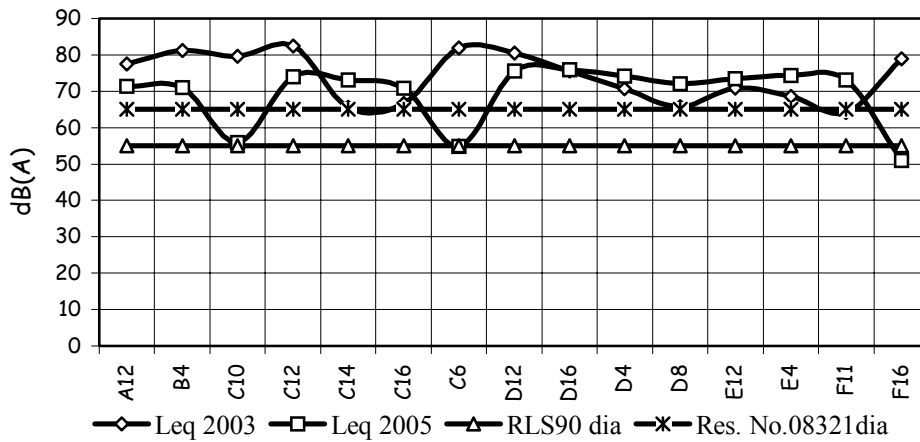


Figura 5: Contrastes entre los resultados del estudio acústico en los años 2003 y 2005, además en comparación con las normas nacional e internacional durante el día.

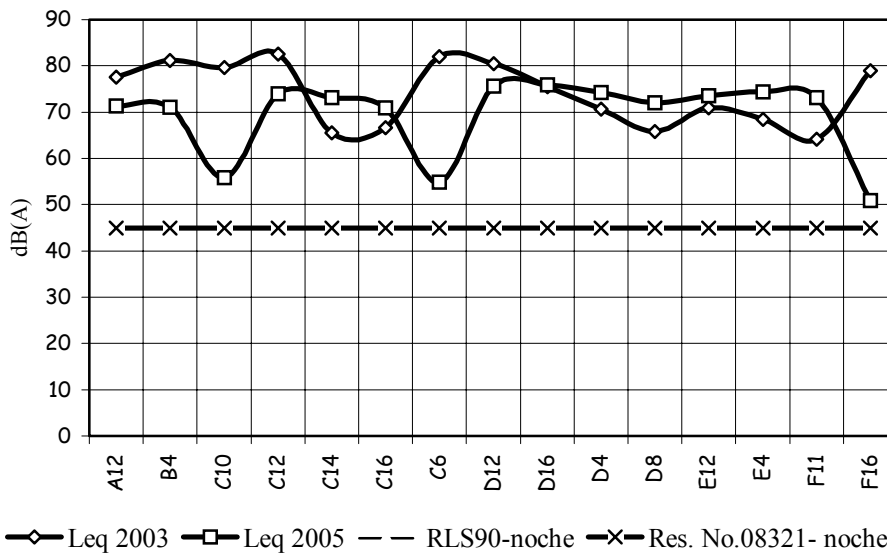


Figura 6: Contrastes entre los resultados del estudio acústico en los años 2003 y 2005, en comparación con las normas nacionales e internacionales durante la noche.

3. IMPACTO DE LAS INTENSIDADES SONORAS DE LOS TIPOS DE VEHÍCULOS

Después del estudio del ruido ambiental generado por el parque automotor en la zona de estudio, se procedió a realizar un análisis del impacto acústico absoluto generado por los diferentes tipos de vehículos circulantes en el parque automotor, en estado de relantí (vehículo no en marcha).[7].

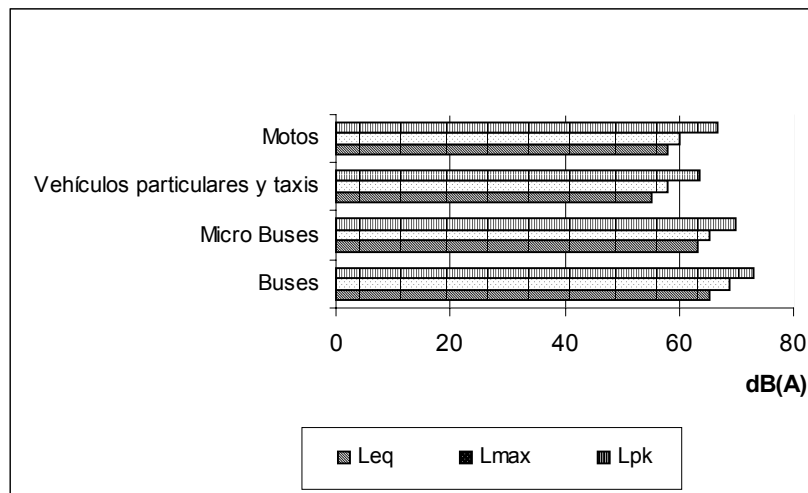


Fig. 7: Contribución de los niveles de presión sonora de los diferentes tipos de vehículos circulantes en el parque automotor, en estado relanti.

Fuente: Investigación de fuentes generadoras de ruido por vehículos, 2003 [7]

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los datos fueron comparados con la resolución vigente Colombiana 08321 de 1983, donde se especifica los límites de intensidades sonoras en los diferentes sectores de la ciudad y la norma Alemana RLS 90(ver tabla 3).

- Con la utilización y el desarrollo del modelo de cálculo, se pudo apreciar que los niveles de emisión sonoros calculados teóricamente mediante las fórmulas presentaban en algunos casos un margen de error por encima de los niveles sonoros de campo calculados por el sonómetro, esto se debe a que la modelización que se aplicó, se hizo con base en las condiciones más críticas de flujo vehicular y se simularon condiciones ideales de circulación del tráfico y las fórmulas no contemplaban las intensidades provenientes del ruido de fondo, por lo que existen situaciones de la realidad que eran difícil de considerar.
- Las diferencias existentes entre los valores teóricos y el software, la diferencia radica en los diferentes factores de corrección y atenuaciones de reflexión utilizados por la base teórica y la computacional, los cuales influyen en la propagación del sonido.
- La intensidad sonora promedio (Leq) en la zona residencial se encuentra un 13,5% por encima de la normatividad vigente colombiana, resolución 08321 de 1983.
- Los datos calculados mediante el modelo matemático en el 2003 tienen un incremento del 4% con respecto a los resultados obtenidos mediante el Software en el 2005.
- En las curvas isofónicas obtenidas para los perfiles se puede apreciar el efecto de apantallamiento que estas sufren en las cercanías de los linderos de los edificios, lo que trae como consecuencia un aumento en los niveles de presión sonora emitidos por las distintas fuentes.
- El aporte mayor de las intensidades sonoras en el parque automotor son generadas por los buses, debido al tipo de modelos, sistema de frenado, diseño de cabinas y usos de bocinas.
- La continuación del monitoreo acústico urbano y el levantamiento de las curvas isofónicas en las principales arterias de la ciudad permitirán en el futuro predecir cual sería la contribución de las intensidades sonoras que tendría el parque automotor en las zonas de estudios, así como también la toma de decisiones de mejoramiento del tráfico vehicular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SoundPlan. Software y Tutorial.

- [2] Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen (RLS 90). Germany. Norma Alemana sobre predicción de ruido de tráfico rodado.
- [3] DIN 18005, Norma internacional de medición de ruido. (Límites permisibles para las distintas zonas de estudio).
- [4] Harris, Cyril M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. Madrid, Mc Graw Hill. 1995.
- [5] López, Manuel Recuero. Ingeniería Acústica. Madrid, Editorial Paraninfo. 2000.
- [6] Tesis de Grado: UNIVERSIDAD DEL NORTE: "Implementación de un modelo de cálculo para diagnosticar y evaluar la contaminación por ruido producida por el parque automotor en un sector urbano", Director Ing. Ventura Muñoz Yi, MSc, ejecutor: Deimar Martínez.2003
- [7] Tesis de Grado : UNIVERSIDAD DEL NORTE "Análisis de la contaminación por ruido debido al Tránsito vehicular En La zona de Influencia del Transmetro en la ciudad de Barranquilla, Director Ing. Ventura Muñoz Yi, ejecutor Hugo Beltrán Garavito,2003.
- Tesis: Diagnostico de los niveles de ruido que se presentan en la calle 30 entre carreras 43 y 46 del municipio de Barranquilla. 2001. Director Ing. Ventura Muñoz Yi, ejecutor De La Hoz, José. Segretera Álvaro, 2001.