

ESTUDIO DEL RUIDO AMBIENTAL EN DOS ZONAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO A TRAVÉS DEL MÉTODO DE CATEGORIZACIÓN VIAL

PACS: 43.50.Sr

German González, Miriam¹; Barrigón Morillas, Juan Miguel²; Orozco Santillán, Arturo³.

¹ Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura. Circuito Interior S/N, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México D.F., México.

E-mail: lydmgg@yahoo.com.mx

² Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura. Avda. de la Universidad s/n, 10071 Cáceres, España.

E-mail: barrigon@unex.es

³ University of Southern Denmark, Institute of Technology and Innovation. Niels Bohrs Allé 1, 5230 Odense M, Denmark.

E-mail: aos@iti.sdu.dk

ABSTRACT

We describe an urban noise survey carried out in Mexico City, one of the world's most crowded metropolitan areas. The objective of the study has been to analyze the sound conditions of the streets in two areas in the City. Noise measurements were carried out and data from traffic flow were acquired in different street typologies during a diurnal period of working days. The measured noise levels were higher than those recommended by international organizations. The results also showed that the noise in the city is stratified, with an important percentage of the noise variability due to vehicular flow.

RESUMEN

Se describe un estudio del ruido urbano en la Ciudad de México, una de las metrópolis más pobladas a escala mundial. El objetivo del estudio fue el análisis de las condiciones sonoras en las vialidades de dos zonas de la Ciudad. Se realizaron mediciones de los niveles sonoros y se registró el flujo vehicular en diferentes tipos de vialidades, en horario diurno en días laborales. Los niveles de ruido registrados fueron mayores a aquellos recomendados por organismos internacionales. Los resultados también mostraron estratificación en los niveles de ruido, con un importante porcentaje de la variación de éste causado por el flujo vehicular.

1 INTRODUCCIÓN

El ruido urbano es uno de los problemas ambientales que la humanidad está confrontando actualmente en las ciudades. Aunque no existen datos exactos de su magnitud, ha llegado a ser de gran importancia por el número de personas expuestas, los efectos que tiene en la salud y bienestar de la comunidad y por los costes sociales que genera. Por todo esto, el ruido urbano ha sido considerado por organismos internacionales como un indicador de la calidad ambiental urbana y tema que requiere una investigación prioritaria [1,2].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) sugiere que en ciudades de países en desarrollo el problema también puede ser de consideración debido al número de vehículos y a la deficiente

planificación de las ciudades [3]. En la Ciudad de México (Distrito Federal) el tema del ruido apareció por primera vez en los periódicos en 1959, haciendo referencia a una investigación cuyos resultados mostraron que en algunas zonas de la ciudad el ruido sobrepasaba el límite impuesto en países industrializados [4]. Sin embargo, el trabajo científico y el desarrollo de herramientas normativas para la lucha contra este contaminante hasta nuestros días han sido escasos y limitados.

El Distrito Federal, junto con municipios de estados vecinos, forma una de las áreas metropolitanas más grandes del mundo, conocida como Zona Metropolitana del Valle de México, que registró en el año 2005 una población de aproximadamente 18 millones de habitantes [5]. El Distrito Federal tiene una superficie de 1,486 Km² (0.076% del territorio nacional) donde habitan 8.7 millones de personas [5]. Este reducido espacio urbano no sólo tiene la mayor concentración humana del país, sino también de vehículos automotores. En el año 2007 el número de vehículos registrado fue de poco más de 3 millones de unidades, aproximadamente 78% más que en 1980 [6].

Esta situación ha favorecido el deterioro ambiental de los espacios públicos abiertos de zonas que, por su patrimonio arquitectónico, son reconocidas como sitios tradicionales, en los que han prevalecido actividades sociales de gran importancia. En los últimos años se ha visto un incipiente interés por el rescate de la habitabilidad de dichos espacios. Sin embargo, el tema del ruido urbano no ha sido considerado de prioridad dentro de los programas de desarrollo urbano, que incluyen aspectos de protección ambiental.

Probablemente la escasa información científica sobre aspectos físicos y subjetivos del problema de ruido ambiental en la ciudad sea la razón por la que la contaminación por ruido no se haya considerado tema prioritario. Por ello, este trabajo de investigación pretende contribuir a la generación de la información que sirva de argumento para plantear políticas a favor de la lucha contra el ruido en la ciudad.

El trabajo de investigación quedó enmarcado en dos zonas de estudio ubicadas en el centro-norte (Santa María La Ribera) y centro-sur (Coyoacán) de la Ciudad de México (Figura 1). La primera zona cuenta con una superficie de 176.2 Ha y la segunda de 440Ha. En adelante, estas zonas se identificarán como SMLR y Coyoacán respectivamente.

Para analizar la situación de ruido en dichas zonas, primero se realizó un estudio piloto en diversas vialidades de cada una de ellas. Los resultados determinaron la conveniencia de utilizar el método de categorización vial, que ha sido probado recientemente en ciudades de diferente tamaño en España [7-9].



Figura 1. Localización de las zonas de estudio en el mapa del Distrito Federal

2 MÉTODOS

A. El método de categorización vial

Este método se basa, principalmente, en los supuestos de que: a) la principal fuente de ruido en la ciudad es el tráfico vehicular y b) que es posible clasificar las diferentes calles de acuerdo con el uso para comunicar diferentes zonas de una ciudad entre sí o con otras del entorno.

Para aplicar este método en las zonas de estudio, se realizó un análisis general del sistema vial de la ciudad para hacer una propuesta de categorización vial. Con base en ésta, se clasificó cada calle de las zonas de estudio, se identificaron los puntos de las mediciones del estudio piloto de acuerdo con el tipo de vialidad correspondiente y se definió dónde era necesario hacer mediciones adicionales para tener muestras en todos los tipos de vialidades propuestas. La clasificación del sistema vial propuesta, que es comparable con la clasificación de Barrigón Morillas JM, *et al.* [7-9], es la siguiente.

Tipo 1. Comprende las vías *anulares, viaductos y radiales*, que conectan diferentes puntos de la ciudad o con carreteras hacia otras ciudades. Son vías de acceso controlado, que satisfacen la demanda de movilidad continua de grandes volúmenes de tránsito. Generalmente no existe comunicación directa con las propiedades colindantes y el tránsito es principalmente de paso.

Tipo 2. Comprende los *ejes viales* y las *arterias principales*, que permiten la circulación hacia los cuatro puntos cardinales y entre diferentes áreas de la ciudad. Satisfacen la demanda de movilidad de grandes volúmenes de tránsito. La mayoría de ellas tienen comunicación directa a las estaciones del Metro y a las propiedades colindantes. El tránsito es de paso y local.

Tipo 3. Comprende las vías *secundarias*, que enlazan a los centros urbanos con la red vial primaria. Permiten el acceso directo a las propiedades colindantes. El tránsito es local y de paso. Estas vías pueden ser usadas cuando existe obstrucción vial en las calles tipo 1 y 2.

Tipo 4. Comprende las vías *locales con pequeño comercio*, que permiten una comunicación con calles de este mismo tipo y con las vialidades definidas previamente. El acceso a las propiedades colindantes es directo. El tránsito es principalmente local.

Tipo 5. Comprende las vías *locales sin comercio*, donde el uso del suelo es exclusivamente habitacional. La estructura de éstas no permite el tránsito intenso y pesado. El acceso a las propiedades residenciales colindantes es directo. No existe tránsito de paso.

B. Muestreo

Las mediciones se realizaron entre el mes de febrero de 2007 y octubre de 2008, siguiendo los criterios de las normas ASTM E 1779-96a (R 2004) [10] y ASTM E-1686-03 [11].

En cada punto de medición fueron registrados los índices de ruido: Leq, L10, L50 y L90, en dBA. El tiempo de cada medición fue de 10 minutos cada hora, lo cual concuerda con el tiempo mínimo recomendado en el estándar ASTM E-1686-03 [11].

Las medidas se llevaron a cabo en días laborales de lunes a jueves. Se obtuvieron los niveles sonoros hora a hora, en un periodo diurno de 9:00 a 16:00 horas. Durante el muestreo se registró el flujo vehicular de acuerdo con la clasificación de ligeros, pesados y motocicletas. Las lecturas de las medidas se registraron cada segundo. Por lo tanto, el total de muestras por punto de medición fue de 4800. El número total de puntos de muestreo en la zona SMLR fue de 24 y en Coyoacán de 27.

Las mediciones se realizaron con dos tipos de sonómetros: 1) integrador tipo 2, analizador en tiempo real en 1/1 octavas, marca Quest modelo SoundPro Data Logger Clase 2 (SP-DL-2-1/1) y 2) integrador tipo 2 marca EXTECH, modelo 407780.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Influencia del flujo vehicular en el nivel sonoro

La influencia del número de vehículos en el nivel de ruido medido se muestra en la figura 2, donde se observa la relación entre Leq , registrado cada 10 minutos en los puntos de medición, y el logaritmo (base 10) del flujo vehicular Q (número de vehículos por hora), compuesto de vehículos ligeros, pesados y motocicletas) contabilizado durante las mediciones de Leq . El coeficiente de correlación obtenido es 0.82 $p < 0.05$. Lo que indica que el 67% de la variación del ruido medido en las zonas estudiadas es explicada por el número de vehículos.

Cabe aclarar que este análisis no tiene en cuenta otras consideraciones sobre el tráfico vehicular, por ejemplo: la tipología del vehículo contabilizado, las condiciones del pavimento y el tipo, la velocidad y las diferencias en el camino de propagación desde la fuente al punto de medida, dado que las medidas realizadas en puntos con características muy diferentes entran en el mismo análisis. Estas y otras consideraciones explicarían mucho más de la variabilidad del nivel sonoro de lo que explica solamente el número de vehículos. El análisis mostró que la ecuación de la línea de ajuste es: $Leq = 7.1 \text{ Log } Q + 44.6$. Estos resultados son coherentes con los reportados en otros trabajos [7,12].

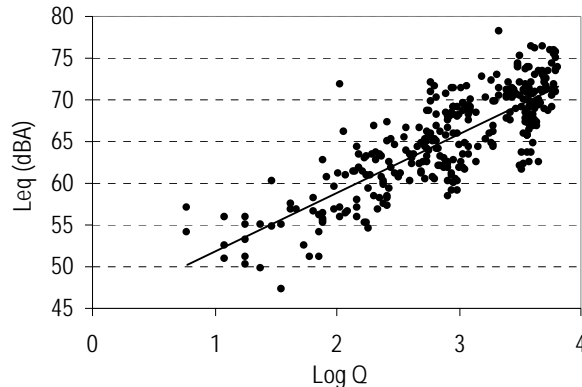


Figura 2. Relación lineal entre el nivel sonoro equivalente continuo (Leq) y el logaritmo del flujo vehicular.

B. Distribución porcentual de los niveles sonoros en cada tipo de vialidad

Las características de la distribución porcentual de los valores de Leq de cada tipo de vialidad, en las dos zonas estudiadas, se observan en la figura 3 y son las siguientes:

- Tipo 1: la distribución es sesgada negativamente en las dos zonas. El intervalo modal es 70-75 dBA en SMLR y 65-70 dBA en Coyoacán, con 42% y 34% de las muestras, respectivamente. En SMLR el 52% de las muestras superan los 70 dBA, mientras que en Coyoacán el 45% cae en esta categoría.
- Tipo 2: en la distribución de Leq en SMLR es sesgada positivamente. En Coyoacán la distribución es sesgada negativamente. El intervalo modal es 65-70 dBA en ambas zonas, con 25% y 36% de las muestras respectivamente. El 29% y 23% de las muestras superan los 70 dBA respectivamente en SMLR y Coyoacán.
- Tipo 3: la distribución de los valores de Leq es sesgada, positivamente en SMLR, y negativamente en Coyoacán. Respectivamente, el intervalo modal es 55-60 dBA y 60-65 dBA, con 28% de las muestras en cada zona. Solamente el 6% y 16% de las muestras superan los 70 dBA respectivamente en SMLR y Coyoacán.

- Tipo 4: la distribución de los valores de Leq es sesgada, positivamente en SMLR, y negativamente en Coyoacán. Respectivamente, el intervalo modal es 55-60 dBA y 60-65 dBA, con 36% y 39% de las muestras respectivamente. Solamente el 2% y 1% de las muestras superan los 70 dBA respectivamente en SMLR y Coyoacán.
- Tipo 5: en las dos zonas la distribución es sesgada positivamente. El intervalo modal es 50-55 dBA y <50 dBA, con 51% y 45% de las muestras respectivamente en SMLR y Coyoacán. No se registraron valores superiores a 70 dBA.

La distribución del conjunto de datos de los cinco tipos de vialidades de las dos zonas fue aproximadamente uniforme sobre un amplio intervalo: de 50 a 75 dBA (88%). El 36% de muestras registraron valores mayores a 65 dBA y solamente el 8% de las muestras fueron inferiores a 50 dBA y 4% superiores a 75 dBA. En la figura 3 se observa que, en ambas zonas, en las categorías de vialidad menores se observan mayores porcentajes de muestras de Leq en niveles altos que en las categorías superiores.

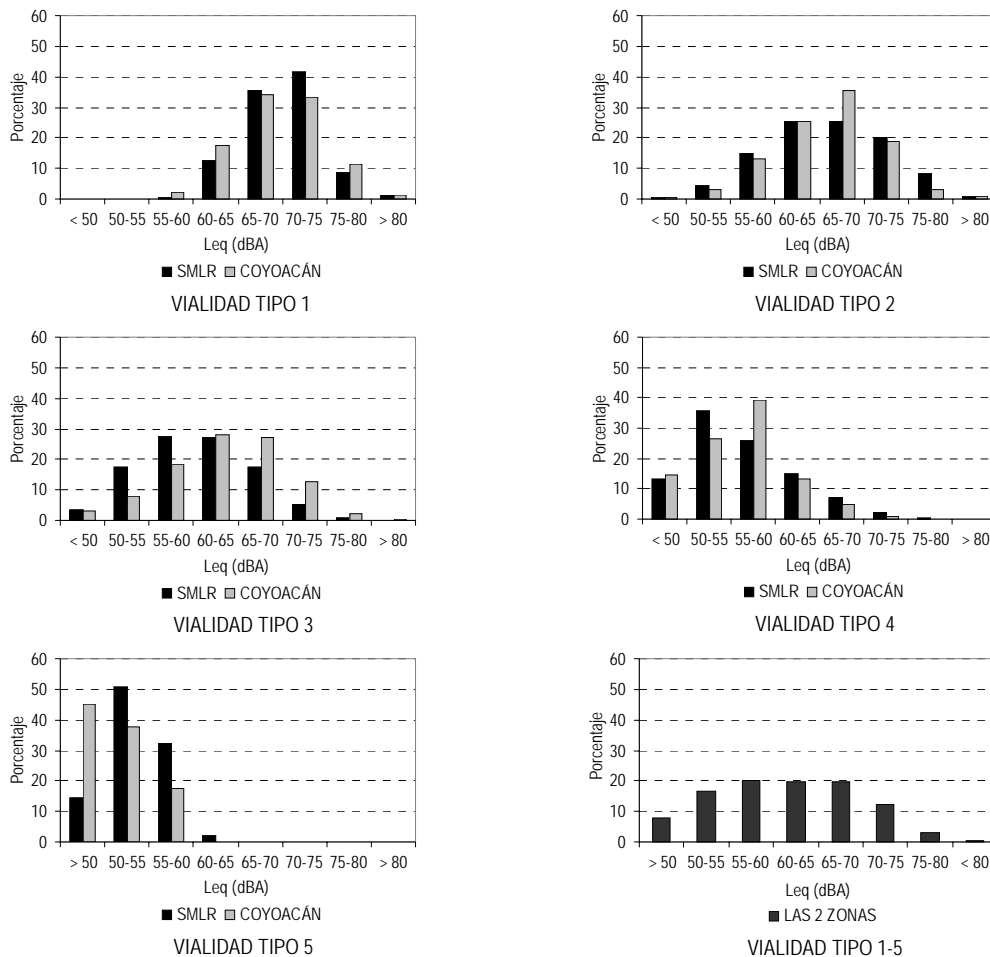


Figura 3. Distribución porcentual de Leq en los cinco tipos de vialidades de SMLR y Coyoacán y del conjunto de datos de los cinco tipos de vialidades de las dos zonas.

C. Variación espacial de Leq

La variación espacial de Leq en los cinco tipos de vialidades de las dos zonas de estudio y del conjunto de datos de las dos zonas (que en adelante se identificarán como datos de la ciudad) se muestra en la tabla 1. En la tabla se observa que, en ambas zonas y en la ciudad, los

índices de ruido decrecen conforme el tipo de vialidad incrementa. Comparando los valores de Leq de las dos zonas, se observa que en los dos primeros tipos de vialidades estos valores son similares, en los siguientes dos existe una diferencia de aproximadamente 3 dBA y en el último de 2 dBA. Sin embargo, el Leq de todas las vialidades es muy similar en las dos zonas.

Los niveles de ruido en las vialidades tipo 1 y 2 de la ciudad son inaceptables, de acuerdo con the US Department of Housing and Urban Development (HUD) [13], la OMS [14] y the United States Environmental Protection Agency (USEPA) [15], quienes señalan que estos niveles pueden inducir a una deficiencia auditiva. El nivel de ruido en la vialidad tipo 3, es también considerado como inaceptable por el HUD, este nivel puede producir perturbaciones de los modelos de comportamiento y síntomas de daño grave, de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) [16]. La vialidad tipo 4, aunque registró un nivel sonoro que es considerado como aceptable por el HUD [13], puede producir interferencia de la actividad en el exterior y también provocar molestia, de acuerdo con la USEPA [15]. Solamente en la vialidad tipo 5 se observó un nivel aceptable por la OMS [14] y la OCDE [16].

Tabla 1. Valores de Leq logarítmico de los cinco tipos de vialidades de SMLR y Coyoacán y de los cinco tipos de vialidades del conjunto de datos de las dos zonas de estudio

Tipo/vía	Leq		
	SMLR	COYOACÁN	CIUDAD
T1	72.2	72.9	72.6
T2	71.2	69.5	70.4
T3	65.8	68.4	67.7
T4	62.9	60.3	62.1
T5	54.7	52.3	53.5
Todos	68.8	68.7	68.7

D. Análisis de la categorización vial propuesta

El coeficiente de correlación de Spearman de la relación entre el Leq y el tipo de vialidad fue de -0.79 en SMLR, -0.82 en Coyoacán y -0.79 para la ciudad, significativas con $p < 0.001$. Confirmando que el nivel sonoro decrece al aumentar el tipo de vialidad.

Para verificar la existencia de diferencias significativas entre los valores de Leq de los tipos de vialidades, de cada zona y de la ciudad, se realizaron las pruebas de Kruskal Wallis y de Mann-Witney-Wilcoxon. La prueba de Kruskal Wallis mostró una diferencia significativa entre las medianas (tabla 2) de las cinco categorías en todos los casos. En los tres casos, para el valor calculado del estadístico de prueba H fue mayor que el valor crítico de 9.55 (para 4 grados de libertad y nivel de significancia de 0.05) con $p < 0.001$.

Tabla 2. Valores de la mediana de los niveles sonoros (Leq) en los cinco tipos de vialidades de las zonas de estudio y de la ciudad

Tipo de vialidad	SMLR	COYOACÁN	CIUDAD
T-1	72.2	72.3	72.2
T-2	68.7	68.8	68.7
T-3	64.0	67.2	66.1
T-4	60.9	58.3	60.1
T-5	53.7	50.8	52.2

Las diferencias entre pares de vialidades adyacentes se verificaron con la prueba Mann-Witney-Wilcoxon. Para cada par las hipótesis nula y alternativa son como las siguientes:

H_0 : La mediana del nivel de ruido en la vialidad tipo 1 es igual que en la tipo 2.

H_1 : La mediana del nivel de ruido en la vialidad tipo 1 es mayor que en la tipo 2.

El valor crítico z para un nivel de significancia de 0.05 es de ± 1.65 . Todos los pares de categorías adyacentes, de las dos zonas y del conjunto de datos, los valores z calculados (tabla 3), dan resultados mayores que el valor crítico con $p < 0.001$, indicando que existe diferencia significativa entre éstas. Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa.

Cabe destacar que, aunque en Coyoacán la diferencia de las medianas entre las vialidades tipo 2 y la 3 es de tan sólo 1.6 dBA, entre éstas se verificó que existe diferencia significativa. Con estos resultados se comprueba la estratificación del ruido en las zonas estudiadas y en la ciudad y se confirma la adecuación de la categorización propuesta en la Ciudad de México.

Tabla 3. Valores z calculados de la prueba Mann-Witney-Wilcoxon

	SMLR	COYOACÁN	CIUDAD
Tipo/vías	z		
1-2	5.8	6.9	9.5
2-3	9.4	5.5	10.1
3-4	9.2	15.2	17.8
4-5	10.3	11.8	16.9

E. Comparación de los niveles sonoros con resultados de otros estudios internacionales

El valor medio Leq del conjunto de datos de las dos zonas de estudio (tabla 1), es comparado con los valores de ruido reportados para ciudades en 6 países. Cabe aclarar que dichos estudios fueron realizados con diferentes metodologías, por lo que las comparaciones se hacen sólo con fines ilustrativos. Los valores Leq en los cinco tipos de vialidades son comparados con los resultados reportados por Morillas JM, *et al.* [8].

En la ciudad de Valdivia, Chile [17] se reportaron los valores promedio de Leq para los periodos diurnos: 7:00-11:00 horas, 11:00-14:00 horas y 14:00-18:00 horas y para el periodo vespertino de 18:00-22:00 horas. En los tres periodos diurnos el Leq fue de 68.0 dBA y para el vespertino de 69 dBA. En Messina, Italia [18] el valor medio (aritmético) Ld reportado fue de 71.6 dBA (6:00-20:00 horas). En Beirut, Líbano [19] el valor promedio (logarítmico) Leq de 3 periodos del día: 10:00-12:00, 16:00-18:00 y 20:00-22:00 fue de 73.2 dBA. En Curitiba, Brasil [20] el valor promedio (logarítmico) Leq obtenido de dos periodos del día: 12:00-13:00 horas y 18:00-19:00 horas fue de 75.8 dBA. En ocho ciudades del sureste de Nigeria [21] el valor medio (logarítmico) Leq (24 horas) fue de 84.6 dBA. En Calcuta, India [22] el valor promedio (logarítmico) Leq (24 horas) fue de 87.1 dBA.

Los valores de ruido reportados en el estudio de Chile son similares a nuestros resultados. La diferencia entre la ciudad de México y las ciudades de Italia y Líbano, que es, respectivamente, de 3 y 4 dBA, es *apenas perceptible*. Por otro lado, la diferencia con el ruido de Curitiba en Brasil (7 dBA) es entre *claramente perceptible y dos veces más ruidoso* que en México. El ruido en las ciudades de Nigeria y de la India es mayor que en la Ciudad de México, la diferencia de ruido que existe entre estas ciudades y la de México es respectivamente, de 16 y 18 dBA, que se percibe como aproximadamente entre *tres y cuatro veces más ruidoso*.

El periodo de medición del estudio de Morillas JM, *et al.* [8] fue de 10:00 a 20:00 horas. Los resultados de ambos estudios se muestran en la tabla 4. En ella se observa que los valores de las vías tipo 1 a 3 son casi iguales en las dos ciudades, en las vías tipo 4 y 5 los niveles sonoros son mayores en Badajoz, con aproximadamente 4 y 10 dBA, respectivamente.

Tabla 4. Valores de Leq de cinco tipos de vialidades en las ciudades de Badajoz, España y México, México

Ciudad	Tipo de vialidad				
	T1	T2	T3	T4	T5
Badajoz	72.7	71.4	67.7	65.9	63.9
México	72.6	70.4	67.7	62.1	53.5

4. CONCLUSIONES

Se han realizado mediciones sonoras en dos zonas de la Ciudad de México. En general los resultados han revelado que los niveles son más altos que los establecidos por organismos internacionales para proteger la salud y bienestar de las personas.

Los resultados han puesto de manifiesto que en la ciudad, donde se tienen registrados más de 3 millones de vehículos, el 67% de la variación del ruido medido en las vialidades es explicada por el flujo vehicular. Se excedieron los 65 dBA en el 36% por ciento de las muestras.

El método de categorización vial que se usó para estudiar el ruido en las vialidades reveló que es efectivo para comprender la estratificación del ruido en la ciudad. Además, se confirmó que las cinco categorías propuestas para el sistema vial de la Ciudad de México son adecuadas, pues en éstas los índices de ruido decrecen conforme el tipo de vialidad cambia y se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de los niveles sonoros de las diferentes categorías.

5. REFERENCIAS

- [1] WHO. Berglund B, Lindvall T (Eds). Community noise. World Health Organization, Stockholm: Stockholm University and Karolinska Institute; 1995.
- [2] OECD. Human health and the environment, Chapter 21. France; 2001.
- [3] WHO. Guidelines for community noise. World Health Organization, Geneva, Switzerland; 1999.
- [4] Bazán H. La Ciudad de ayer, diario El Universal, 16-04-2006. Disponible en: <http://www.el-universal.com.mx/columnas/57062.html>.
- [5] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). II conteo de población y vivienda 2005.
- [6] SETRAVI. 1er informe 2007, Secretaría de Transporte y Vialidad del Distrito Federal. Disponible en: <http://www.setravi.df.gob.mx>. Consultada el 22-04-2008.
- [7] Barrigón Morillas JM, et al. An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *App Acoust* 2002;63:1061-1070.
- [8] Barrigón Morillas JM, et al. Measurement of noise pollution in Badajoz City, Spain. *Acta Acustica/Acustica* 2005;91:797-801.
- [9] Barrigón Morillas JM, et al. A categorization method applied to the study of urban road traffic noise. *J Acoust Soc Am* 2005;117(5):2844-2852.
- [10] Guide for Preparing a Measurement Plan for Conducting Outdoor Sound Measurements, American Society for Testing and Materials, ASTM Standard E 1779- 96a (R 2004).
- [11] Standard Guide for Selection of Environmental Noise Measurements and Criteria. American Society for Testing and Materials, ASTM Standard E 1686-03.
- [12] Piccolo A, et al. Evaluation and analysis of the environmental noise of Messina, Italy. *Appl Acoust* 2005;66:447-465.
- [13] HUD. The Noise Guidebook. The US Department of Housing and Urban Development, HUD-953-CPD, Washington, DC. (1985). Consulta: 11-04-2006. Disponible en: <http://www.hud.gov/offices/cpd/environment/training/guidebooks/noise/>.
- [14] WHO, Technical meeting on noise and health indicators. Second meeting –Results of the testing and piloting in member states. 18-19 December 2003 Bonn, Germany.
- [15] EPA. United States Environmental Protection Agency. Noise and Urban Pedestrian Areas. Report: 550/9 80-321, November 1980.
- [16] Comisión Europea. Política futura de lucha contra el ruido, Libro Verde. Bruselas; 1996.
- [17] Sommerhoff J, Recuero M, Suárez E. Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. *Appl Acoust* 2004;65:643-656.
- [18] Piccolo A, et al. Evaluation and analysis of the environmental noise of Messina, Italy. *Appl Acoust* 2005;66:447-465.
- [19] Korfaly SI, Massoud M. Assessment of community noise problem in Greater Beirut Area, Lebanon. *Environmental Monitoring and Assessment* 2003;84:203-218.

- [20] Zanin PH, Diniz FB, Barbosa WA. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. *Appl Acoust* 2002;63: 351-358.
- [21] Onuu MU. Road traffic noise in Nigeria: Measurements, analysis and evaluation of nuisance. *J Sound Vibr.*, 2000; 233: 391-405.
- [22] Chakrabarty D, Chandra Santra S, Mukherjee A, Roy B, Das P. Status of road traffic noise in Calcutta metropolis, India. *J Acoust Soc Am* 1997; 101(2):943-949.