

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS MEDICIONES DE RUIDO AMBIENTAL URBANO A 1,5 m Y 4 m DE ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL PISO EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN, ANTIOQUIA - COLOMBIA

COMPARATIVE STUDY BETWEEN URBAN MEASUREMENT ENVIRONMENTAL NOISE AT HEIGHT 1,5 m AND 4 m IN MEDELLÍN, ANTIOQUIA - COLOMBIA

ANA JARAMILLO

Grupo de Higiene y Gestión Ambiental, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia, anacatajara@gmail.com

ALICE GONZÁLEZ

Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Universidad de la República, Uruguay

CATALINA BETANCUR

Facultad de Ingeniería, Ingeniería Sanitaria, Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental, GIGA, Universidad de Antioquia

MAURICIO CORREA

Profesor Facultad de Ingeniería, Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental, GIGA, Universidad de Antioquia Colombia

Recibido para revisar febrero 29 de 2008, aceptado septiembre 24 de 2008, versión final octubre 21 de 2008

RESUMEN: Con la entrada en vigencia de la Resolución 0627 de 2006, reglamentándose la altura de 4m sobre el nivel del piso como estrategia de medición para evaluar los niveles de ruido ambiental, se ha creado una gran controversia entre las entidades ambientales gubernamentales, los académicos y profesionales del sector, sobre las implicaciones económicas, logísticas y operativas para el desarrollo del trabajo de campo. Con el propósito de determinar si mediciones simultáneas de ruido urbano efectuadas a 1,5 m y 4 m representan o no la misma realidad sonora, se realizó un análisis estadístico a un conjunto de datos obtenidos en el marco de la construcción del mapa de ruido del municipio. Después de un análisis de los datos agrupados por punto, por jornada (diurna y nocturna) y por tipo de día (hábil y no hábil), se infiere que no es posible afirmar la semejanza entre muestras de ruido tomadas a 1,5 m y 4 m de altura, no sólo por las diferencias numéricas, sino que representan realidades sonoras diferentes.

PALABRAS CLAVE: Ruido Ambiental; Contaminación acústica; Mediciones acústicas a 1,5 m y 4 m; Resolución 0627 de 2006; análisis Estadístico.

ABSTRACT: Since Resolution 0627 has been brought into force in 2006, regulating a height of 4 m for measurements of environmental noise, urban noise management policies in Colombia have taken a new course. However, a controversy has arisen involving government officers, academics and professionals as regards economic, logistic and operational implications for the fieldwork. With the objective of assessing whether there is or not a statistically significant difference between urban environmental noise measurements at 1,5 m and 4 m above the floor, a statistical analysis of a large amount of data gathered during the development of the noise map of Medellin, data have been grouped according to measurement site, time of day (daytime and nighttime) and type of day (working and weekend). It is not possible to affirm the noise samples taken at 1,5 m and 4 m above the floor are similar, not only by the numerical differences, but they represent different noise landscapes.

KEYWORDS: Environmental noise; noise pollution; acoustic measurement at 1,5m and 4m; Resolution 0627 of 2006; statistical analysis.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las principales ciudades de Latinoamérica han experimentado un incremento significativo de la contaminación acústica [1], convirtiéndose éste en un elemento más de la degradación ambiental urbana y en uno de los principales responsables del deterioro de la salud y el bienestar de las personas.

La popularidad del ruido se debe a su condición especial de requerir mínima energía para producirlo y un gran esfuerzo para su atenuación. Además, las medidas contra el ruido son siempre costosas no sólo en lo económico sino también en lo social, pues además de implicar medidas de ingeniería y arquitectura sofisticadas pueden requerir la modificación de hábitos, usos o costumbres [2].

En Colombia el panorama no es nada alentador, diversos estudios llevados a cabo en diferentes ciudades del país, han arrojado como resultado que existe una clara correlación positiva entre el crecimiento de la actividad económica y los niveles de ruido que soportan sus habitantes [3].

Un buen ejemplo de esta situación se presenta en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, dado que es una de las regiones de Colombia que está siendo sometida a altos niveles de ruido urbano, con origen diverso pero bien definido: el aumento acelerado del parque automotor, el alto índice de construcción de edificaciones y obras civiles, la actividad industrial y comercial, y la deficiente o escasa planificación en la expedición de permisos y licencias para la ubicación y funcionamientos de establecimientos en zonas residenciales dedicados a las actividades de ocio, han propiciado un ambiente con altos niveles de contaminación acústica. Además, se estima que un poco más del 40% de sus habitantes están expuestos a niveles de ruido por encima de los límites que pueden ser perjudiciales para la salud [4]. Deficiencias en la audición, interferencias en la comunicación, trastornos del sueño, reposo y la conducta, disminución en el rendimiento, disfunciones fisiológicas sobre la salud mental y el rendimiento e interferencia en el desarrollo de

actividades, son algunas de las consecuencias por la exposición a los altos niveles sonoros [5].

Desde mediados de los años 70's, Las entidades gubernamentales encargadas de velar por la calidad ambiental en Colombia, han contado con instrumentos normativos para prevenir y controlar la contaminación acústica; pero a pesar de todo, esa legislación presentaba limitaciones y por lo general ostentaba grandes vacíos en torno a los valores de emisión de ruido en zonas urbanas y las estrategias de medición (equipos, sitios y tiempo de medición). Adicionalmente, los habitantes de las grandes urbes han manifestado su inconformidad frente a los altos niveles de ruido a través de crecientes protestas individuales, vecinales y de otros colectivos, que han sido confirmadas por estudios de diferentes instituciones y organismos, y exigen del gobierno políticas y acciones dirigidas para contrarrestar sus efectos [6].

Las autoridades ambientales, conscientes de los niveles alcanzados de la contaminación acústica, gradualmente, se van dotando de instrumentos normativos y técnicos encaminados a valorar y caracterizar el ruido ambiental urbano, con el propósito de tomar las medidas pertinentes para su reducción; pero los grandes vacíos normativos, dificultaron definir un procedimiento estandarizado para determinar los niveles de contaminación. Por lo cual, algunas Corporaciones Autónomas Regionales (CAR's) establecieron sus propias metodologías (Resolución 08321 de 1983; Resolución 948 de 1995; ISO 1996-2: 1987; ISO 3891: 1978; IEC 60651; IEC 60804; IEC 61672) [7 – 8], lo cual trajo como consecuencia la aplicación de criterios diferentes y el impedimento de comparar resultados entre sí.

El gobierno nacional preocupado por esta situación, expidió en abril de 2006 la Resolución 0627 [9] por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental, así como los procedimientos de medición para la emisión de ruido y ruido ambiental, la cual ha logrado superar algunos de los inconvenientes antes señalados. En esta Resolución, se reglamenta la altura de 4 m sobre el nivel del

piso como estrategia de medición para evaluar los niveles de ruido ambiental.

Con la entrada en vigencia de la Resolución 0627 de 2006, se da un gran giro a las políticas de gestión del ruido urbano; pero al mismo tiempo, surge una gran controversia entre las entidades ambientales gubernamentales, los académicos y profesionales del sector, sobre las implicaciones económicas, logísticas y operativas para el desarrollo del trabajo de campo en las mediciones de ruido ambiental.

Por un lado, los funcionarios del gobierno argumentan que la norma tiene el suficiente fundamento técnico y jurídico para hacer que las mediciones a 4 m de altura se convierta en un instrumentó apropiado en la gestión del ruido ambiental. Por otra parte, los académicos manifiestan que con la medida se pone en tela de juicio la utilización de datos obtenidos en campañas anteriores efectuadas a 1,5 m de altura sobre el nivel de piso y que además, la evaluación de los niveles de presión sonora a 4m riñen con la filosofía de la norma, la cual propende por la protección auditiva de la población expuesta, que en promedio, no supera los 1,7 m de altura. Por su parte, algunos profesionales cuestionan la medida argumentando que el incremento en los costos en el trabajo de campo (representados en personal, infraestructura -trípodes elevados, cables extensores- y tiempo de instalación) dificulta la contratación y disminuyen la demanda para desarrollar proyectos de consultoría. Adicionalmente, las mediciones a 4m de altura están limitadas por una serie de factores presentes en los entornos urbanos y ajenos a la medición, como en el caso de la presencia de cables de energía, vallas publicitarias, pasacalles, árboles y balcones.

En este sentido, este trabajo de investigación pretende determinar, mediante el análisis estadístico, si existe o no diferencia significativa entre las mediciones de ruido ambiental urbano a 1,5 m y 4 m de altura sobre el nivel del piso, considerando diferentes factores implicados en la calidad acústica del entorno urbano. Además, se obtendrán conclusiones que nos permitan

realizar, en el futuro, mediciones de ruido ambiental con mayor criterio.

2. METODOLOGÍA

Para las mediciones de campo se eligieron siete puntos en el costado sur de la zona urbana de la ciudad de Medellín (Colombia), entre las carreras 50 (Autopista) y 50 F, y las calles 10 y 6 sur. En este sector, simultáneamente se realizaban mediciones de ruido ambiental a 1,5m de altura sobre el nivel del piso, para la construcción del mapa acústico de la ciudad. La zona de estudio es caracterizada por el alto flujo vehicular y franjas de uso residencial, industrial y comercial. En cada punto de medición se registraron diferentes parámetros acústicos, los cuales posteriormente fueron analizados estadísticamente mediante las pruebas de D'Agostino, para comprobar la normalidad de los datos; y de Wilcoxon, para determinar las diferencias entre pares. La figura 1 muestra la zona de muestreo.

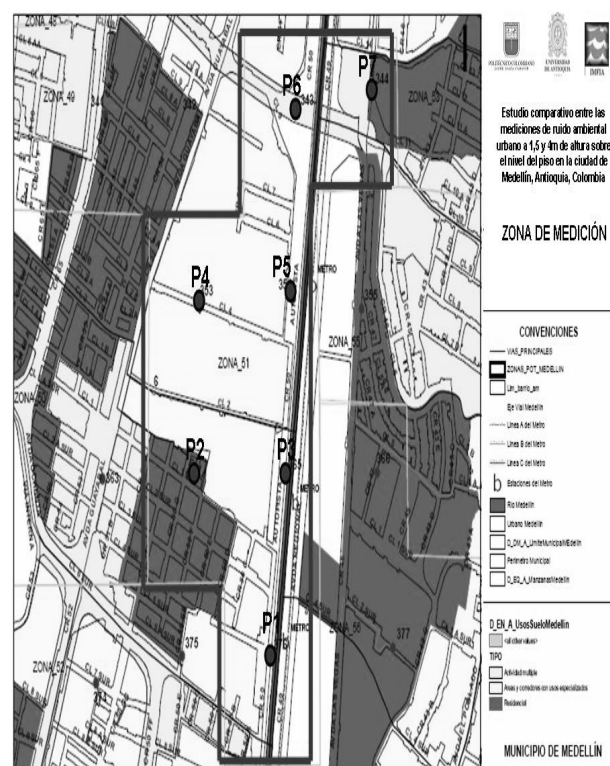


Figura 1. Zona de Muestreo
Figure 1. Measurement zone

2.1 Trabajo de Campo

Para la ejecución del trabajo de campo se tomó como referencia la metodología propuesta en las Resoluciones 08321 de 1983 y 948 de 1995 para las mediciones a 1,5 m de altura, y para el caso de las mediciones a 4 m se tomó como referencia la metodología propuesta en Resolución 0627 de 2006. Los siete puntos fueron evaluados en jornadas de 24 horas durante cuatro días, uno de ellos coincidente con un día no laborable (domingo 29 de julio de 2007) y tres laborables (miércoles 01 de agosto, jueves 02 de agosto y viernes 03 de agosto de 2007). Cada jornada de medición fue dividida en tres franjas de ocho horas (06:00 a 14:00, 14:00 a 22:00 y 22:00 a 06:00) y en cada hora de medición se registraron cinco datos de 10 minutos de los parámetros acústicos: L_{eq} , L_{90} , L_{10} , $L_{máx}$, $L_{mín}$ y L_{peak} . Para los registros a 4 m de altura se empleó un sonómetro Quest SoundPro y para las mediciones a 1,5 m de altura se utilizó un Sonómetro Quest 2900, ambos en modo de operación con filtro ponderación A y respuesta rápida, y con certificado de calibración vigente.

2.2 Análisis estadísticos de datos

El primer paso consistió en determinar si el conjunto de datos sigue o no una distribución normal, con el propósito de definir la estrategia estadística a seguir (estadística paramétrica o estadística no paramétrica). Para este fin, se aplicó la prueba de D'Agostino, la cual consiste en ordenar de menor a mayor las n observaciones y asignarles un rango en función de su orden. Posteriormente, se calcula sobre la muestra la media, la desviación típica, su estadístico y por último el estadístico de contraste, cuya distribución está tabulada; es el exterior (cerrado) de un intervalo $(D_{n,\alpha}, D^{n,\alpha})$, donde $D_{n,\alpha}$ y $D^{n,\alpha}$ se obtienen de tablas, para un nivel de confianza (α) determinado. En esta prueba, se plantea como hipótesis nula (H_0) la normalidad de los datos y como hipótesis alternativa (H_1) la no normalidad de los mismos (L. Sachs, 1978). De modo tal que si $D \notin (D_{n,\alpha}, D^{n,\alpha})$ se rechaza la normalidad y en otro caso se asume.

$$T = \sum_{i=1}^n \left(i - \frac{n+1}{2} \right) x_i = \sum_{i=1}^n i x_i - \frac{n(n+1)}{2} \bar{x} \quad (1)$$

$$D = \frac{T}{n^2 \delta} \quad (2)$$

En la cual: T es el estadístico de prueba, D es el estadístico de contraste, n es el número de observaciones (condicionado a $n \geq 10$) y δ es la desviación típica.

Luego de verificar si existe o no un comportamiento de normalidad de los datos, el segundo paso consistió en la aplicación de la prueba de Wilcoxon para comparar las series de datos medidos a 1,5 m y a 4 m de altura. Esta prueba permite verificar si las diferencias correspondientes a dos muestras paralelas se distribuyen simétricamente alrededor de la mediana cero. Es decir, según la hipótesis nula (H_0), las diferencias entre pares d proceden de una población de función de distribución $F(d)$, o función de densidad $f(d)$, verificándose:

$$H_0 = F(+d) + F(-d) = 1 \quad (3)$$

$$\text{o} \\ f(+d) = f(-d) \quad (4)$$

Si la prueba llega a rechazar H_0 esto significaría que, o bien la población no es simétrica con respecto a su mediana (es decir, la mediana de las diferencias es distinta de cero $\mu_d \neq 0$), ó bien que las dos muestras proceden de poblaciones con distribuciones distintas.

Prescindiendo de los pares cuyos valores sean iguales, para los n pares de valores restantes se formarán las diferencias:

$$d_i = X_{i1} - X_{i2} \quad (5)$$

A continuación se ordenan los valores absolutos $|d_i|$ de menor a mayor, asignándoles rangos: el menor de todos ellos tendrá el rango 1, y el mayor tendrá rango n . En caso de que se repitieran valores, se asignaría a cada uno de ellos el rango medio. Junto a cada número de rango se anota si la diferencia correspondiente tiene signo positivo o negativo. Se forma la suma de los números de rango positivos (R_p) y la

de los rangos negativos (R_n), que se comprueban con la siguiente ecuación:

$$R_p + R_n = \frac{n(n+1)}{2} \quad (6)$$

Como estadístico se empleará la menor de las dos sumas de rangos (R). Se rechazará la hipótesis nula cuando el valor obtenido R sea menor o igual que el valor crítico $R(n;\alpha)$ tabulado. Para $n > 25$ se tiene la aproximación:

$$R(n;\alpha) = \frac{n(n+1)}{4} - z\sqrt{\frac{1}{24}n(n+1)(2n+1)} \quad (7)$$

Los valores de z correspondientes a los casos unilateral y bilateral (para este caso se tomo un límite de significancia de 0.05, con el valor de z bilateral de 1.959964). Cuando no se pueda o no se quiera prefijar de antemano un valor de α (si $n > 25$) se utilizará en vez de la ecuación anterior, la expresión equivalente:

$$z = \frac{\left| R - \frac{n(n+1)}{4} \right|}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \quad (8)$$

En la cual: z es el estadístico de comparación, R es la suma de rangos y n número de datos [10]. El valor de z que se obtiene se interpreta mediante la distribución normal reducida. Para este caso se tomo como límite de significancia de 0.05, con el valor de z bilateral de 1.959964 [10].

3. RESULTADOS

Con el propósito de alcanzar los mejores resultados y poder obtener conclusiones generales, los datos se han agrupado según sus promedios en: promedios diarios, promedios por jornada de medición y por tipo de día. A continuación se presentan los datos de campo y los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico en cada punto evaluado.

3.1 Datos de Campo

En la tabla 1 se presentan los L_{eq} promedio y los promedios de las diferencias obtenidas entre las mediciones a 1,5 m y 4 m de altura en cada uno de los puntos evaluados durante toda la campaña de medición.

La tabla 2 muestra los datos de L_{eq} promedio y los promedios de las diferencias obtenidas entre las mediciones a 1,5 m y 4 m de altura en campo por horario de medición (diurno: entre 07:01 y 21:00; nocturno: entre 21:01 y 06:00) y en cada uno de los puntos de la zona evaluada.

Tabla 1. L_{eq} dBA promedio y diferencias obtenidas entre 1,5 m y 4 m de altura en cada uno de los puntos evaluados durante toda la campaña de medición

Table 1. Average L_{eq} dBA and differences obtained between 1,5 m and 4 m of height in each of the points evaluated during all the measurement work

Punto	Atura de medición		Diferencia
	4m	1,5m	
1	75,0	75,2	0,2
2	63,3	65,2	1,9
3	76,5	76,7	0,2
4	67,5	66,9	0,6
5	73,0	72,3	0,7
6	72,0	71,1	0,9
7	72,3	71,7	0,6

Tabla 2. L_{eq} dBA promedio y diferencias obtenidas entre 1,5 m y 4 m de altura en cada uno de los puntos para los horarios diurno y nocturno

Table 2. Average L_{eq} dBA and differences obtained between 1,5 m and 4 m of height in each of the points for daytime and nighttime

Jornada	Diurna			Nocturna		
	Punto	4m	1,5m	Diferencia	4m	1,5m
1	76,3	76,6	0,3	72,8	72,8	0,0
2	64,0	65,8	1,8	59,9	62,6	2,7
3	77,0	77,0	0,0	75,3	76,0	0,7
4	68,6	67,8	0,7	64,2	64,4	0,2
5	74,2	73,6	0,6	71,3	70,5	0,8
6	72,8	71,7	1,2	69,6	69,8	0,2
7	73,2	72,6	0,7	68,9	68,4	0,5

La tabla 3 presentan los datos de L_{eq} promedio y los promedios de las diferencias obtenidas entre las mediciones a 1,5 m y 4 m de altura registrados en campo por clase de día (laborable: lunes, martes, miércoles, jueves y viernes; no laborables: sábado, domingo) y en cada uno de los puntos de la zona evaluada.

Tabla 3. L_{eq} dBA promedio y diferencias obtenidas entre 1,5 m y 4 m de altura en cada uno de los puntos para los días laborables y no laborables

Table 3. Average L_{eq} dBA and differences obtained between 1,5 m and 4 m of height in each of the points for working days and holidays

Dia Punto	Laborable			No laborable		
	4m	1,5m	Diferencia	4m	1,5m	Diferencia
1	72,8	72,1	0,7	69,7	69,6	0,1
2	63,9	65,7	1,9	60,7	62,9	2,1
3	77,0	77,4	0,4	75,8	75,6	0,2
4	68,4	67,9	0,5	63,4	62,5	0,9
5	73,7	73,0	0,6	68,8	67,5	1,2
6	72,5	71,3	1,1	69,8	70,4	0,6
7	72,8	72,1	0,7	69,7	69,6	0,1

3.2 Prueba de D'Agostino

En la tabla 4 se presentan los resultados de 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 4. Resultados de la prueba estadística de D'Agostino obtenidos en cada uno de los puntos evaluados durante toda la campaña de medición

Table 4. Results of D'Agostino statistical test obtained in each of the points evaluated during all the measurement work

Punto	Atura de medición		N°. Datos
	4m	1,5m	
1	No normal	No normal	50
2	Normal	Normal	30
3	No normal	No normal	39
4	Normal	Normal	32
5	No normal	Normal	46
6	Normal	No Normal	37
7	No normal	No normal	41

La tabla 5 muestra los resultados de la prueba estadística de D'Agostino para determinar la normalidad de la serie de datos obtenidos en cada una de las jornadas diurna y nocturna, y en cada uno de los puntos de la zona evaluada.

Tabla 5. Resultados de la prueba estadística de D'Agostino obtenidos en cada uno de los puntos para las jornadas diurna y nocturna

Table 5. Results of D'Agostino statistical test obtained in each of the points for day and night journeys

Jornada Punto	Diurna			Nocturna		
	4m	1,5m	N°. Datos	4m	1,5m	N°. Datos
1	No normal	No normal	27	No normal	Normal	23
2	Normal	Normal	23	Normal	Normal	8
3	No normal	No normal	26	Normal	Normal	14
4	Normal	Normal	21	Normal	No normal	12
5	Normal	Normal	23	Normal	Normal	24
6	Normal	Normal	25	Normal	Normal	13
7	No Normal	No Normal	29	Normal	Normal	13

La tabla 6 presenta los resultados de la prueba estadística de D'Agostino para determinar la normalidad de la serie de datos obtenidos para cada tipo de día (laborable: lunes, martes, miércoles, jueves y viernes; no laborables: sábado, domingo) y en cada uno de los puntos de la zona evaluada.

Tabla 6. Resultados de la prueba estadística de D'Agostino obtenidos en cada uno de los puntos para los días laborables y no laborables

Table 6. Results of D'Agostino statistical test obtained in each of the points for working days and holidays

Dia Punto	Laborable			No laborable		
	4m	1,5m	N°. Datos	4m	1,5m	N°. Datos
1	No normal	No normal	33			8
2	No normal	Normal	23			7
3	No normal	No normal	22	Normal	Normal	17
4	Normal	Normal	23			9
5	No Normal	No Normal	36	Normal	Normal	10
6	No normal	No normal	29			8
7	No normal	No normal	33			8

3.3 Prueba de Wilcoxon

En la tabla 7 se presentan los resultados de la prueba estadística de Wilcoxon para determinar si las series de datos obtenidas a 1,5 m de altura son comparables o no con las de los datos obtenidos a 4 m de altura en cada uno de los puntos evaluados durante toda la campaña de medición.

Tabla 7. Resultados de la prueba estadística de Wilcoxon obtenidos en cada uno de los puntos evaluados durante toda la campaña de medición

Table 7. Results of Wilcoxon statistical test obtained in each of the points evaluated during all the measurement work

Punto	Atura de medición		N°. Datos
	4m	1,5m	
1	No son comparables		50
2	No son comparables		30
3	Son comparables		39
4	No son comparables		32
5	No son comparables		46
6	No son comparables		37
7	Son comparables		41

La tabla 8 muestra los resultados de la prueba estadística de Wilcoxon para determinar si la serie de datos obtenidos a 1,5 m de altura son comparables o no con los datos obtenidos a 4 m de altura en cada una de las jornadas diurna y nocturna, y en cada uno de los puntos de la zona evaluada.

Tabla 8. Resultados la prueba estadística de Wilcoxon obtenidos en cada uno de los puntos para las jornadas diurna y nocturna

Table 8. Results of Wilcoxon statistical test obtained in each of the points for day-time and night-time

Jornada	Diurna			Nocturna		
	4m	1,5m	N°. Datos	4m	1,5m	N°. Datos
1	No son comparables		27	Son comparables		23
2	No son comparables		23	No son comparables		8
3	No son comparables		26	No son comparables		14
4	Son comparables		21	No son comparables		12
5	Son comparables		23	Son comparables		24
6	Son comparables		25	No son comparables		13
7	Son comparables		29	No son comparables		13

La tabla 9 presenta los resultados de la prueba estadística de Wilcoxon para determinar si la serie de datos obtenidos a 1,5m de altura son comparables o no con los datos obtenidos a 4m de altura para cada tipo de día (laborable: lunes, martes, miércoles, jueves y viernes; no laborables: sábado, domingo) y en cada uno de los puntos de la zona evaluada.

Tabla 9. Resultados de la prueba estadística de Wilcoxon obtenidos en cada uno de los puntos para los días laborables y no laborables.

Table 9. Results of Wilcoxon statistical test obtained in each of the points for working days and holidays

Día	Laborable			No laborable		
	4m	1,5m	N°. Datos	4m	1,5m	N°. Datos
1	Son comparables		33	No son comparables		8
2	No son comparables		23	No son comparables		7
3	No son comparables		22	Son comparables		17
4	Son comparables		23	No son comparables		9
5	Son comparables		36	Son comparables		10
6	No son comparables		29	No son comparables		8
7	Son comparables		33	No son comparables		8

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Niveles de ruido durante la jornada diurna

De acuerdo con los valores del nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A ($L_{eq,A}$) obtenidos en la zona de estudio durante la jornada diurna y según lo estipulado en la normatividad vigente para un sector tipo B, todos los puntos, a excepción del 2, no cumplen con el límite máximo permisible de 65 dBA para las mediciones realizadas a 4 m de altura, mientras que para las mediciones realizadas a 1,5 m altura todos los puntos incumplen dicha norma.

Si las mediciones son comparadas con lo estipulado para un sector tipo C (70dBA), únicamente los puntos 2 y 4 cumplen con la norma, para las mediciones realizadas a 1,5 m y 4 m de altura.

4.2 Niveles de ruido durante la jornada nocturna

De acuerdo con los valores del nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A ($L_{eq,A}$) obtenidos en la zona de estudio durante la jornada nocturna y según lo estipulado en la normatividad vigente para un sector tipo B, todos los puntos incumplen el límite máximo permisible de 50 dBA, para las mediciones realizadas a 1,5 m y 4 m de altura.

Si las mediciones son comparadas con lo estipulado para un sector tipo C, todos los puntos incumplen el límite máximo permisible de 55 dBA, para las mediciones realizadas a 1,5 m y 4 m de altura.

4.3 Diferencias entre los niveles de medición

Al analizar las diferencias entre los L_{eq} promedio en cada uno de los puntos medidos a 1,5 m y 4 m, se observa que la mayor diferencia se obtuvo en el punto 2, con un valor de 1,89 dBA y la diferencia más baja se encontró en el punto 1, con un valor de 0,24 dBA. En el resto de los puntos evaluados la diferencia estuvo entre 0,6 dBA y 0,8 dBA.

Cuando los L_{eq} fueron agrupados por jornada de medición y se analizaron sus diferencias entre niveles de medición, las mayores diferencias durante la jornada diurna se presentaron en los puntos 2 y 6, con valores de 1,78 dBA y 1,16 dBA, respectivamente, y para la jornada nocturna la mayor diferencia se presentó en el punto 2, con un valor de 2,72 dBA. Por otra parte, la menor diferencia en la jornada diurna se presentó en el punto 3, con un valor de 0,04 dBA, y para la jornada nocturna se presentó en el punto 1, con un valor de 0,02 dBA.

Cuando los datos fueron agrupados por tipo de día y se analizaron sus diferencias entre niveles de medición, las mayores diferencias para los días laborables coinciden con los puntos en donde las diferencias para la jornada diurna presentaron los mayores valores, puntos 2 y 6, con diferencias de 1,85 dBA y 1,14 dBA respectivamente. Para los días no laborables los puntos 2 y 5 presentaron las mayores diferencias, 2,1 dBA y 1,2 dBA respectivamente. Por otra parte, las menores diferencias coincidentemente se presentaron en el punto 3, con valores de 0,38 dBA y 0,23 dBA para los días laborables y no laborables, respectivamente.

4.4 Resultados de normalidad

Los resultados obtenidos con la aplicación de la prueba estadística de D'Agostino a la totalidad de las mediciones registradas en cada uno de los puntos, permitió identificar que aproximadamente el 60 % de los datos de ruido presentaron un comportamiento no normal, para las dos alturas evaluadas (1,5 m y 4 m).

Al agrupar los datos en función de la jornada de medición (diurna y nocturna), se encontró que para ambas jornadas, los datos mostraron un comportamiento normal del 60 % para la jornada diurna y 85 % para la jornada nocturna.

Por otra parte, cuando se agruparon los datos en función del tipo de día (laborable y no laborable), los resultados mostraron que para los días laborables el 80 % de los datos tuvieron un comportamiento con tendencia hacia la no normalidad. Para el caso de los días no laborables, sólo se cuenta con información para analizar dos puntos, los cuales presentaron un comportamiento normal para las dos alturas de trabajo.

4.5 Resultados de comparabilidad

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos mediante la aplicación de la prueba de Wilcoxon de diferencias entre pares a los datos capturados a 1,5 m y 4 m de altura: Para la totalidad de las mediciones registradas en cada uno de los puntos, se encontró que en el 71 % son no comparables entre las dos alturas de

medición (puntos 1, 2, 4, 5 y 6), mientras en los puntos 3 y 7 las mediciones son comparables para las dos alturas de trabajo (1,5 m y 4 m).

Al agrupar los datos en función de la jornada de medición (diurna y nocturna), se encontró que para la jornada diurna los datos son no comparables en los puntos 1, 2 y 3 (lo que corresponde al 40% de los puntos), entre tanto para la jornada nocturna el 71 % de los puntos son no comparables (puntos 2, 3, 4, 6 y 7).

Por otra parte, cuando se agruparon los datos en función del tipo de día (laborable y no laborable), los resultados mostraron que para los días laborables el 60 % de los puntos son comparables. Caso contrario sucede con los días no laborables, donde en la mayoría de los puntos (71 %) los datos son no comparables (puntos 1, 2, 4, 6 y 7) entre los dos niveles de trabajo.

5. CONCLUSIONES

En términos generales, los niveles acústicos ambientales encontrados a 1,5 m y 4 m de altura sobre el nivel del piso en el área de estudio, clasifican la zona como altamente ruidosa, dado que durante las jornadas diurna y nocturna un alto porcentaje de los puntos evaluados superan los límites máximos permisibles establecidos en la legislación vigente.

La variación sonora diaria presenta un descenso general en torno a 3 dBA, entre la jornada diurna y nocturna para todos los puntos y alturas evaluadas.

De acuerdo con los resultados arrojados por la prueba de D'Agostino, los datos de ruido en el área de estudio que se analizaron en este proyecto no siguen una distribución normal, dada la complejidad de los fenómenos acústicos generados por la presencia de una gran diversidad de fuentes de ruido en la zona.

De los resultados de esta investigación se infiere que no es posible afirmar la semejanza entre muestras de ruido tomadas a 1,5 m y 4 m de altura, no sólo por las diferencias numéricas (por lo general más altas a 4 m de altura) sino que

representan realidades sonoras diferentes, lo que se manifiesta en el hecho de que las series de datos simultáneos a ambas alturas no resultan estadísticamente comparables.

Desde el punto de vista metodológico, este estudio ayuda a promover el debate sobre las implicaciones de la entrada en vigencia de la resolución 0627 de 2007 y específicamente lo concerniente a la evaluación del ruido ambiental a 4 m de altura.

6. RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar un especial reconocimiento al Grupo de Higiene y Gestión Ambiental – GHYGAM del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y al Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental – GIGA de la Universidad de Antioquia por su apoyo económico y administrativo.

REFERENCIAS

[1] MIYARA, F. Pautas para una ordenanza sobre ruido urbano. Argentina, 1999 Disponible: <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/biblio/ordenan1.htm> [Citado 10 de octubre de 2007].

[2] GONZÁLEZ, ALICE E. Contaminación física en ambiente urbano: El Ruido. I Congreso Regional del Cono Sur de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS).Rosario, Argentina. 1998.

[3] MUÑOZ, V. et al. Análisis predictivo de la contaminación acústica aplicado al tráfico vehicular, relación entre un modelo teórico y uno computacional. TecniAcústica, Gandia: 2006.

[4] 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.

[5] 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].

[6] ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Informe anual de quejas, Subdirección Ambiental. Medellín: 2000 - 2007.

[7] RESOLUCIÓN 08321 DE 1983, MINISTERIO DE SALUD, Bogotá: 1983.

[8] RESOLUCIÓN 948 DE 1995, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Bogotá: 1995.

[9] RESOLUCIÓN 0627 DE 2006, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Bogota: 2006.

[10] SACHS, LHOTHAR Estadística Aplicada. Barcelona (España): Labor, 1978.