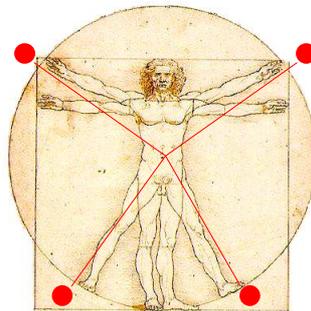


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

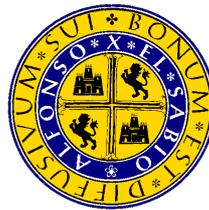
VOLUMEN VII. AÑO 2009

SEPARATA



ANÁLISIS DE ALGUNAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL RUIDO DEBIDO AL
TRÁFICO URBANO EN UNA GRAN CIUDAD

Javier Morales Pérez y Jaime Fernández Gómez



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Javier Morales Pérez y Jaime Fernández Gómez
Mayo,2009.

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD09_001.pdf

© De la edición: *Revista Tecnol@y desarrollo*
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

Tecnol@y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol.VII. 2009.

ANÁLISIS DE ALGUNAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL RUIDO DEBIDO AL TRÁFICO URBANO EN UNA GRAN CIUDAD.

Javier Morales Pérez (1), Jaime Fernández Gómez (2)

- (1) Departamento de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Escuela Politécnica Superior, Universidad Alfonso X el Sabio. Av. de la Universidad 1, Villanueva de la Cañada, 28961 Madrid. España. Tlf. 91 810 91 33 email: jmoraper@uax.es.
- (2) Departamento de Ingeniería Civil: Construcción. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales, y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. C/ Profesor Aranguren s.n., 28040 Madrid. Tf. 91 675 31 00 Email: jfernandez@intemac.es

RESUMEN: En este artículo se estudia el ruido producido por el tráfico en la ciudad de Madrid como ejemplo de gran ciudad y se analiza detalladamente mediante métodos estadísticos para tratar de entender un poco más sus causas y como disminuir su efecto. Para ello se han tomado mediciones en 523 puntos distribuidos aleatoriamente por toda la ciudad.

PALABRAS CLAVE: Leq, ruido, vehículos.

ABSTRACT: This article studies the noise produced by urban traffic in the city of Madrid, as an example of big city. It is analyzed by statistical methods, in order to understand its cause and how to reduce its effects. For this analysis we have studied 523 points selected at random all over the city.

KEY-WORDS: Leq, noise, vehicles

SUMARIO:

1 Introducción

2 Programa experimental

3 Resultados obtenidos y análisis de los mismos.

- Composición del tráfico
- Distribución por intervalos horarios.
- Composición del tráfico por grupos de calles

4 Conclusiones

5 Bibliografía

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD09_001.pdf

1. Introducción.

El concepto de gran ciudad y el de tráfico urbano van estrechamente ligados, de la misma forma que podemos asociar el tráfico al ruido. Esto es en parte debido a la falta de adecuación de la ciudad a las necesidades actuales de los ciudadanos, debido a que la movilidad de las ciudades hoy es muy diferente a la que existía en el momento que fue concebida esa distribución urbanística (Perea Melero, 1989).

El ruido producido por el tráfico es función de un gran número de variables, unas propias de las características del entorno por el que discurre y otras propias de los vehículos.

Aunque los vehículos parecen cada vez más silenciosos, en realidad no se han producido muchos avances tecnológicos en esa dirección, ya que el esfuerzo de las últimas décadas se ha centrado en el ahorro de combustible y en la disminución de la contaminación atmosférica (De Esteban Alonso, Alfonso).

El **Ruido** se define como aquel sonido no deseado. Es aquella emisión de energía originada por un conjunto de fenómenos vibratorios aéreos que, percibidos por el sistema auditivo, puede originar molestias o lesiones de oído.

El indicador de uso más extendido y el mejor correlacionado con la respuesta de la población al ruido originado por infraestructuras de transporte es el Nivel Sonoro Continuo Equivalente (LAeq,T) expresado en decibelios A. Es equivalente en términos de contenido energético, al ruido real variable con el tiempo que existe en el punto de medida durante el periodo de observación; es decir, representa el nivel sonoro que habría sido producido por un ruido constante en el mismo intervalo de tiempo T. Hay que expresar el intervalo de tiempo que se toma como medida.

La expresión matemática de este nivel es:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{P_A^2(t)}{P_o^2} dt \right) \quad [dB(A)] \quad (Ec. 1.1)$$

Siendo PA(t) la presión sonora instantánea ponderada A, Po la presión acústica de referencia y el tiempo de duración de la medida en segundos.

En la práctica $L_{Aeq,T}$ se calcula sumando n niveles discretos de presión sonora L_i , en dB(A), emitidos durante los intervalos de tiempo t_i , en segundos, respectivamente:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log 1/T \sum 10^{L_i/10} t_i \quad (Ec. 1.2)$$

El ruido producido por el tráfico es función de un gran número de variables, unas propias de las características de la calzada y del entorno por el que discurre y otras propias de los vehículos (Perera Melero, 1989).

Algunas evidentes, que son las que vamos a tratar de analizar en este estudio, y otras no tan evidentes que no podemos analizar en este artículo debido a la extensión, pero que están siendo tratadas en la investigación que se está llevando a cabo. Estas variables en las que nos vamos a centrar son las siguientes:

- **La intensidad de tráfico:** La Intensidad de Tráfico es el número de vehículos que circulan en la unidad de tiempo por un punto fijo de la calzada (vehículos/tiempo), modifica los niveles sonoros de la zona en dos aspectos principales:
A mayor intensidad de tráfico mayor nivel sonoro de fondo y también menor diferencia entre el nivel sonoro de fondo y niveles punta.
- **Composición del tráfico:** Lo normal es pensar que a mayor porcentaje de vehículos ruidosos, se producirá mayores niveles sonoros. Pero esta idea varía en función del valor de dicho porcentaje.
Para porcentajes bajos de vehículos ruidosos, el nivel sonoro sólo se modifica por la existencia de valores punta, que destacan sobre el nivel sonoro medio pero sin que éste se vea sensiblemente modificado. Sin embargo, a medida que el porcentaje de vehículos ruidosos aumenta, el nivel sonoro medio producido por la circulación se va incrementando paulatinamente, además de aparecer las correspondientes crestas.
Es decir, cuando circulan pocos vehículos ruidosos se aprecia mucho más su paso porque se produce una elevación de los valores punta (L_{max}), que no se destaca tanto si circulan en un número elevado debido a que el Nivel Sonoro Continuo Equivalente (L_{eq}) es más alto.

Los resultados del presente estudio tienen como fin el conocimiento del ruido creado en una gran ciudad, y cómo estas variables intervienen en el mismo, de cara a poder establecer políticas que reglamentando el tráfico puedan disminuir los niveles de ruido.

2. Programa experimental

A continuación vamos a presentar parte de los resultados de la tesis doctoral “**Estudio de la influencia de determinadas variables en el ruido urbano producido por el tráfico de vehículos**” desarrollada en el Departamento de Ingeniería Civil: Construcción, en la cual se ha medido la L_{eq} y L_{max} en 523 puntos de calles de Madrid, a diferentes horas y en diferentes días.

El trabajo se ha desarrollado en dos fases:

PRIMERA FASE. Planificación y estimación de niveles de ruido en determinadas calles de Madrid con las Intensidades promedio de tráfico rodado (IMD) existente en los puntos de medición (523). Elaboración de reportaje fotográfico y puesta en común de los datos obtenidos a partir de la medición.

Estos puntos de medición se han escogido al azar por todas las calles de Madrid intentando que haya una heterogeneidad de situaciones en cuanto a las variables que se quieren estudiar. Se han estudiado unas 47 calles, entre las que se encuentran calles muy importantes como el Paseo de la Castellana o la calle Serrano, hasta calles muy pequeñas casi sin tránsito de vehículos.

Las mediciones se han realizado de lunes a sábado y en horario tanto diurno como nocturno, aunque predominan los primeros. Las calles de gran longitud como el Paseo de la Castellana se dividieron en varios tramos para su estudio por lo que se realizaron en diferentes días y a veces, también en diferente horario.

En cada uno de los 523 puntos objeto de estudio se siguió un proceso para llevar a cabo la toma de datos:

- En primer lugar se colocaba el sonómetro orientándolo siempre hacia el principal foco de ruido (vía por la que transitan los vehículos) y vigilando que no estuviera cerca de un lugar por el que transitasen peatones a escasa distancia para que las mediciones no se vieran alteradas por circunstancias ocasionales. Una vez colocado, se cronometraron 15 minutos para que el sonómetro pudiera realizar las oportunas mediciones de L_{eq} y $L_{máx}$.

-
- Además, con el fin de identificar los diferentes puntos de medición, se tomaron 3 fotografías por cada uno de ellos: una a la izquierda, otra al centro y la última a la derecha de la dirección hacia la cual estaba orientado el sonómetro. (Véase figura 2.1)
 - A continuación se realizaron las oportunas mediciones de anchura de vía y anchura de acera, así como se anotó el número de plantas de los edificios del entorno y altura de cada uno de ellos, con el fin de poder calcular la altura media y conocer así la esbeltez de la calle.
 - Después de realizar estos trabajos se contabilizaba la intensidad del tráfico que circulaba por la zona de la medición, ya que como es sabido, una mayor afluencia de vehículos provoca un aumento en los niveles de ruido. Con el objetivo de contar con la mayor cantidad de información posible y conocer todos los parámetros que pudieron intervenir en los resultados mostrados por el sonómetro, se separó el tráfico en: motocicletas, turismos y furgonetas, camiones y autobuses; ya que es importante conocer la densidad de vehículos pesados debido a que éstos generan una mayor ruido de fondo. Además, también se calculó la velocidad media de todos estos vehículos.
 - Uno de los elementos más importantes a tener en cuenta en este estudio es la ubicación del sonómetro, ya que el estar colocado en una calle con pendiente condiciona el que los vehículos deban acelerar más para superar dicha pendiente, con el consiguiente aumento de ruido. Si por ejemplo el aparato de medición se sitúa en una intersección regulada por semáforo o en una regulada mediante una señal de ceda el paso, en el momento en el que los vehículos aceleran tras haberse detenido, se produce un gran incremento de ruido. Por ello, es de vital importancia conocer la topografía de la calle (en las fichas de campo se calculó la pendiente de la misma), así como el tipo de intersección en la que se tomaron las mediciones.

Todo esto se hacía mediante unas fichas de campo en las que se recogían todos los datos. En la figura 2.2 se muestra un ejemplo. La medida de los diferentes puntos se ha realizado con un sonómetro integrador modelo RION NL-20. (figura 2.1)

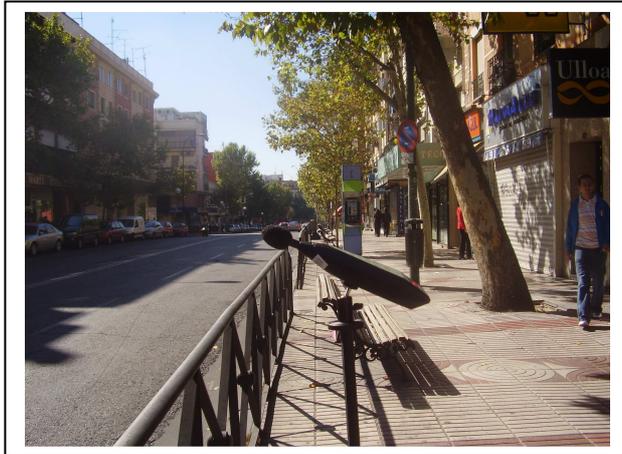


Figura 2.1: Sonómetro midiendo

FICHA DE MEDICIÓN DE DATOS DE RUIDO

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
mañana	tarde	noche			

Hora de la medición: 19:50 Duración de la medición en min: 15

Descripción del punto de medida

Punto de medida número: 8 Meteorología: soleado viento lluvia

TRAFICO (valores 15') Nº de motos <u>15</u> N de turismos y furgonetas <u>195</u> Nº de Camiones y autobuses <u>0</u> Velocidad Media <u>25</u> Intensidad Total <u>210</u>	GEOMETRIA VIA Nº de carriles <u>2</u> Sentidos <u>2</u> Mediana <u>0</u> Anchura de Acera <u>6</u> Anchura de Via <u>6</u> Esbelted <u>0,67</u> Pendiente <u>1</u> Valor de pendiente <u>2</u> Paso elevado <u>0</u> Vehículos estacionados: a ambos lados: <u>0</u> a un lado: <u>0</u>	EDIFICACIONES Altura de edificios <u>4</u> (plantas) Material de fachada <u>1</u> % superficie acristalada <u>20</u> Forma de la fachada <u>2</u> Existencia de Arbolado <u>0</u>
---	--	---

CONDICIONES METEOROLOGICAS Temperatura <u>5</u> Velocidad del viento <u>1</u> Humedad Relativa <u>0</u> Lluvia <u>0</u>	TIPO DE INTERSECCIONES Semáforo <u>0</u> Glorieta <u>0</u>	PAVIMENTO Tipo <u>1</u>
--	---	-----------------------------------

Situación de los edificios: Señale con una X la situación del punto de medición y la distancia a la que se encuentran situados los edificios circundantes

Indicar con flechas la dirección en la que se toman las fotografías

Nº Fotografías 3

Distancia al edificio más próximo 7

Incidencias Obras <input type="checkbox"/> Ferrocarril <input type="checkbox"/>	Tráfico pesado <input type="checkbox"/> Ambulancia <input type="checkbox"/>	Atasco <input type="checkbox"/> Aglomeración <input type="checkbox"/>	dB <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Leq</td> <td>Lmax</td> </tr> <tr> <td>71,8</td> <td>101,2</td> </tr> </table>	Leq	Lmax	71,8	101,2
Leq	Lmax						
71,8	101,2						

Figura 2.2. Ficha de campo utilizada

SEGUNDA FASE. Análisis de los datos obtenidos para tratar de ver qué variables afectan al ruido y en que medida. Este estudio se ha realizado mediante el programa estadístico SPSS.

3. Resultados obtenidos y análisis de los mismos.

A continuación se exponen los resultados obtenidos, el análisis estadístico se ha dividido en tres apartados que se desarrollan en los puntos siguientes:

3.1 Composición del tráfico

Lo primero que hacemos con los datos de partida es ver en que medida se relacionan entre sí los distintos componentes del tráfico. Los datos han sido estandarizados para compensar el diferente número de vehículos de las distintas clases consideradas.

Desde un punto de vista estadístico, observamos el grado de asociación lineal entre cada par de variables mediante el coeficiente de correlación de Pearson. (Tabla 3.1)

		Leq	Lmáx	Zscore: Nº de motos	Zscore: Nº de turismos y furgonetas	Zscore: Nº de Camiones y autobuses
Leq	Pearson Correlation	1	,404(**)	,357(**)	,535(**)	,444(**)
	Sig. (2-tailed)	.	,000	,000	,000	,000
	N	523	504	523	523	523
Lmáx	Pearson Correlation	,404(**)	1	,233(**)	,197(**)	,101(*)
	Sig. (2-tailed)	,000	.	,000	,000	,023
	N	504	504	504	504	504
Zscore: Nº de motos	Pearson Correlation	,357(**)	,233(**)	1	,702(**)	,496(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	.	,000	,000
	N	523	504	523	523	523
Zscore: Nº de turismos y furgonetas	Pearson Correlation	,535(**)	,197(**)	,702(**)	1	,665(**)
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	.	,000
	N	523	504	523	523	523
Zscore: Nº de Camiones y autobuses	Pearson Correlation	,444(**)	,101(*)	,496(**)	,665(**)	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,023	,000	,000	.
	N	523	504	523	523	523

** Correlación es significativa al nivel 0,01 Sig. (bilateral)

* Correlación es significativa al nivel 0.05 Sig. (bilateral)

Tabla 3.1 Correlaciones

En términos generales, vemos que en esta matriz todos los coeficientes de correlación son significativamente distintos de cero, lo que implica que todas estas variables están relacionadas.

La asociación que nos compete explicar es la de Leq y $Lmax$ con cada una de las componentes del tráfico, sin embargo tendremos que tener en cuenta el hecho de que exista asociación entre las componentes.

Esto puede implicar que estén aportando la misma información, lo que significaría que alguna de las tres es redundante con respecto a las otras, o bien, que exista una parte del ruido que se deba a la acción conjunta de las componentes

Según estos resultados vemos que la máxima asociación lineal para Leq se presenta con el número de turismos y furgonetas, con un coeficiente de correlación de 0,535, seguido del número de camiones y autobuses con un 0,444 y por último el número de motos con un 0,357. Sin embargo, si lo que miramos es la $Lmax$, vemos que esto cambia ya que son las motos las que tienen la máxima asociación lineal.

Se puede concluir que en el valor de la Leq los mayores responsables son los turismos y furgonetas, mientras que las motos son las principales causantes de los valores punta que se producen.

Realizado este primer análisis, vamos a tratar de predecir los valores de la variable Leq y $Lmax$ mediante el ajuste de una ecuación de regresión lineal simple.

Hemos elegido un procedimiento de regresión por pasos porque como hemos visto anteriormente existe multicolinealidad entre las variables.

Lo primero que observamos mediante este procedimiento es que sólo se introducen dos grupos: camiones y autobuses y turismos y furgonetas, descartando las motos, porque no aporta más información. (Tabla 3.2)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Nº de turismos y furgonetas	.	Forward (Criterion: Probability -of-F-to- enter <= ,050)
2	Nº de Camiones y autobuses	.	Forward (Criterion: Probability -of-F-to- enter <= ,050)

a Dependent Variable: Leq

Tabla 3.2 Variables utilizadas y eliminadas

Una vez descartada la variable de las motos, si hacemos el resumen del modelo, vemos que en un primer paso, turismos y furgonetas en solitario explican el 26.7% de la varianza explicada, sin embargo al introducir Camiones y autobuses vemos que esta proporción se incrementa hasta un 28.2%. (Tabla 3.3)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,518(a)	,268	,267	4,2361
2	,534(b)	,285	,282	4,1924

a Predictors: (Constant), Nº de turismos y furgonetas

b Predictors: (Constant), Nº de turismos y furgonetas, Nº de Camiones y autobuses

Tabla 3.3 Resumen del modelo

La regresión lineal sólo explicaría un 28,2 por ciento de la variabilidad, lo que indica dos cosas que ya son conocidas, que la relación no es lineal y que hay otras variables que influyen en el Leq,

12. Javier Morales Pérez y Jaime Fernández Gómez.

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	68,126	,254		268,277	,000
	Nº de turismos y furgonetas	,005	,000	,518	13,824	,000
2	(Constant)	68,088	,252		270,662	,000
	Nº de turismos y furgonetas	,004	,000	,417	8,810	,000
	Nº de Camiones y autobuses	,014	,004	,163	3,452	,001

a Dependent Variable: Leq

Tabla 3.4. Coeficientes

Si nos centramos en los coeficientes para ver qué influye más, observamos que la significatividad es menor que 0,05 en la prueba de t student, con lo que podemos afirmar que todos los coeficientes son distintos de 0, por lo que podemos comparar los Beta entre sí. En el grupo formado por turismos, furgonetas, camiones y autobuses, la mayor influencia en la Leq la proporcionan los turismos y furgonetas. (Tabla 3.4)

Si estudiamos ahora las correlaciones parciales para eliminar el efecto de “turismos y furgonetas” en los otros dos grupos de vehículos, es decir, como influirían por si solos en la Leq, observamos que en el caso de Motos la correlación desaparece (Tabla 3.5) (por ello esta variable no se incluía en el modelo), y en el caso de camiones, desciende de una forma importante. Partíamos de un 0.444 y se queda en un 0.185. Es decir, que se ve claramente que la mayor influencia en la Leq es de turismos y furgonetas. (Tabla 3.6)

Control Variables			Leq	Zscore: N° de motos
Zscore(N_de_turismos_y_furgonetas) N° de turismos y furgonetas	Leq	Correlation	1,000	,012
		Significance (2-tailed)	.	,789
		df	0	520
	Zscore: N° de motos	Correlation	,012	1,000
		Significance (2-tailed)	,789	.
		df	520	0

Tabla 3.5 Correlaciones

Control Variables			Leq	Zscore: N° de Camiones y autobuses
Zscore(N_de_turismos_y_furgonetas) N° de turismos y furgonetas	Leq	Correlation	1,000	,185
		Significance (2-tailed)	.	,000
		df	0	520
	Zscore: N° de Camiones y autobuses	Correlation	,185	1,000
		Significance (2-tailed)	,000	.
		df	520	0

Tabla 3.6. Correlaciones

Como resumen del análisis referente a la intensidad de tráfico podemos señalar lo siguiente:

- Los turismos y furgonetas son los principales responsables de la Leq.
- Al hacer una regresión por pasos para tratar de predecir los valores de la Leq según la composición e intensidad del tráfico, se observa que el grupo formado por turismos, furgonetas, camiones y autobuses, explicaría un 28,2% de la variabilidad.
- Todo esto indica que hay otras variables que influyen en los niveles de la Leq, aparte del tráfico.

- Si consideramos los valores de L_{max} las motos pasan a ser los mayores responsables de estos valores pico, en lugar de los turismos y furgonetas, explicando un 23% de la variabilidad.

3.2 Distribución por intervalos horarios.

A continuación vamos a tratar de analizar el reparto de la intensidad de tráfico en los distintos intervalos horarios:

Según el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, se establecen tres intervalos horarios para los estudios de ruido, el L-Day que comprende desde las 7 -19h, el L-Evening que va desde las 19-23h, y el L-Night desde las 23-07h.

Según esta partición, la mayoría del tráfico se encuentra en el L Day, ya que le corresponden 12 horas, a la tarde 4 horas y a la noche 8 horas, pero según lo estudiado, es preferible dividir ese amplio intervalo horario para ajustarlo más a las diferencias en la intensidad del tráfico.

Por este motivo, hemos dividido los intervalos horarios para este estudio en los siguientes:

- Mañana = 7-12h
- Tarde = 12-20h
- Noche = 20-7h

Según esta división, nuestra muestra comprende 260 puntos de mañana, 185 de tarde y 78 de noche.

Realicemos un estudio descriptivo de la composición del tráfico en estos períodos, teniendo en cuenta que las intensidades de tráfico están expresadas en número de vehículos por 15 minutos que es el tiempo de medición empleado en cada punto. (Tabla 3.7)

Mañana y Tarde

El número medio de turismos y furgonetas es muy similar, algo mayor en el horario de tarde con un incremento que no llega al 10%. El número medio de motos se

mantienen prácticamente constante, mientras que en el número medio de camiones se produce una bajada significativa por la tarde de un 25%.

Noche

Aquí si se produce una bajada importante en los tres grupos de vehículos, como era de esperar. La media de turismos y furgonetas bajan en un 42%, la de motos en un 62% y la de camiones y autobuses en un 55%, siempre tomando como referencia los valores de la tarde.

h2			Nº de motos	Nº de turismos y furgonetas	Nº de Camiones y autobuses
Mañana	N	Valid	260	260	260
		Missing	0	0	0
	Mean		46,69	513,56	45,24
Tarde	N	Valid	185	185	185
		Missing	0	0	0
	Mean		45,79	558,25	33,80
Noche	N	Valid	78	78	78
		Missing	0	0	0
	Mean		17,69	324,35	15,53

Tabla 3.7 Número medio de vehículos por intervalos horarios

Según se muestra en la figura 3.1 y en la tabla 3.8, la media del tráfico total es más alta por las tardes que por las mañanas y como era de esperar, mucho más baja por las noches.

El gráfico de la desviación típica mantiene la misma forma, sin embargo observamos que se aleja de la media por la mañana, lo que indica una mayor dispersión en proporción a la media.

Esta hipótesis se justifica estadísticamente calculando el coeficiente de variación de pearson (media/SD), por la mañana es de 106%, por la tarde 102% y por la noche 98%.

Si observamos en la figura 3.2 la distribución del Leq, se puede ver que es prácticamente igual por la mañana y por la tarde, con un valor aproximado de 71 dB, y menor por la noche, con un valor aproximado de 68 dB. Si lo comparamos con la intensidad del tráfico de la figura 3.1, se puede ver que es mayor por la tarde, pero con una diferencia poco significativa, por lo que no es extraño esa Leq prácticamente igual.

Tal y como se observa en la figura 3.2, el valor de Leq es mayor por la mañana que por la tarde aunque el número de vehículos registrados es ligeramente menor. Ello indica, tal y como se vio en el apartado anterior, que hay otras variables externas al tráfico que influyen en los niveles de ruido.

En cuanto al Lmax es complicado hacer valoraciones, ya que son valores puntuales y lo único que sabemos es que las motos son los vehículos que más influyen, como vimos en el análisis de composición del tráfico, teniendo medias prácticamente iguales por la mañana y por la tarde (tabla 3.8). Pero en ningún caso que sean los únicos causantes de ello. Es decir, los picos que se producen durante las mediciones se deben en mayor proporción a las motos, pero existen hechos puntuales, como puede ser el paso de una ambulancia durante la noche, que supondrían un valor alto de la Lmax.

Resumiendo, podemos indicar que:

- Los niveles de intensidad de tráfico por la mañana y por la tarde son similares al igual que los correspondientes niveles de Leq.
- Hay mayor dispersión de los valores de Leq por la mañana que por la tarde, si los comparamos en relación a la media estimada.
- Aunque la intensidad es algo mayor por la tarde, los valores de Leq salen prácticamente iguales, lo que reafirma que existen otras variables que influyen en la Leq.
- Los valores de por la noche, en cuanto a intensidad de tráfico, son mucho más bajos, pero la Leq solo disminuye 3 dBA respecto a la mañana o a la tarde.

Mañana	N	Valid	260
		Missing	0
	Mean		605,4904
	Median		405,0000
	Mode		255,00(a)
	Std. Deviation		641,72823
	Skewness		1,885
	Std. Error of Skewness		,151
	Kurtosis		3,447
	Std. Error of Kurtosis		,301
	Minimum		5,00
	Maximum		3120,00
	Percentiles	25	165,7500
		50	405,0000
	75	810,7500	
Tarde	N	Valid	185
		Missing	0
	Mean		637,8432
	Median		345,0000
	Mode		180,00
	Std. Deviation		653,57118
	Skewness		1,554
	Std. Error of Skewness		,179
	Kurtosis		2,003
	Std. Error of Kurtosis		,355
	Minimum		28,00
	Maximum		3300,00
	Percentiles	25	180,0000
		50	345,0000
	75	896,0000	
Noche	N	Valid	78
		Missing	0
	Mean		357,5641
	Median		209,5000
	Mode		825,00
	Std. Deviation		350,96437
	Skewness		,890
	Std. Error of Skewness		,272
	Kurtosis		-,429
	Std. Error of Kurtosis		,538
	Minimum		1,00
	Maximum		1230,00
	Percentiles	25	67,7500
		50	209,5000
	75	600,0000	

Tabla 3.8. Media, mediana y moda por intervalos horarios

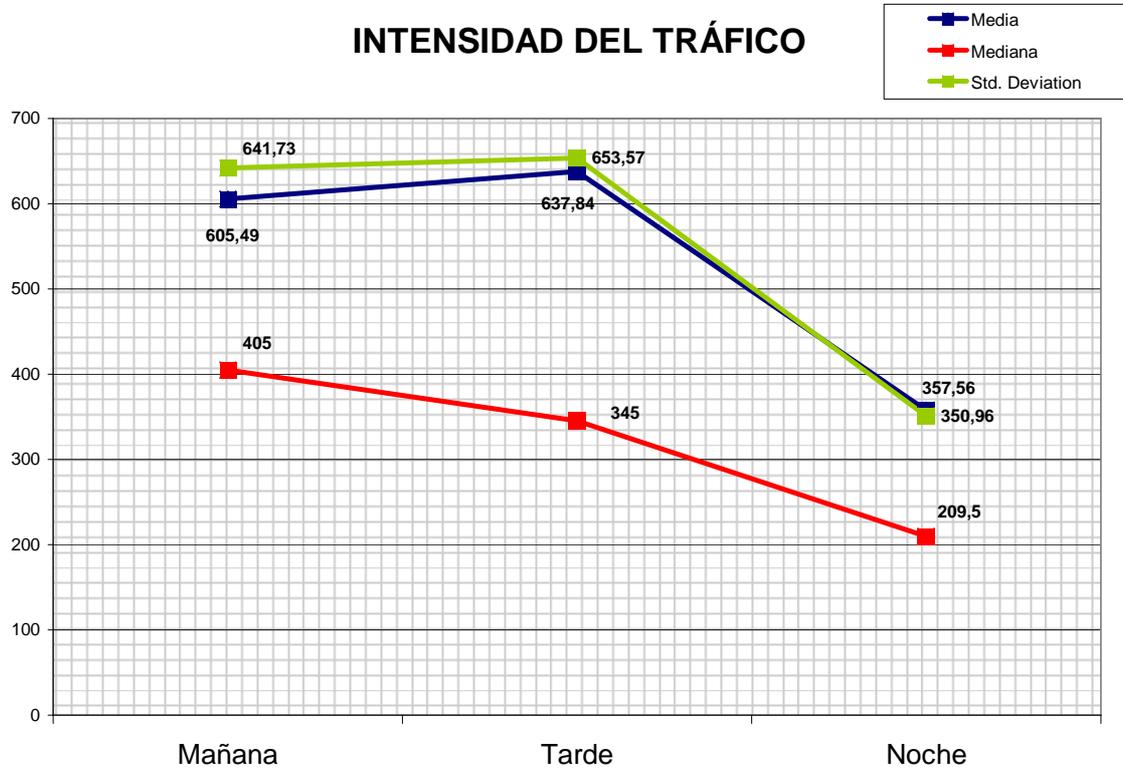


Figura 3.1

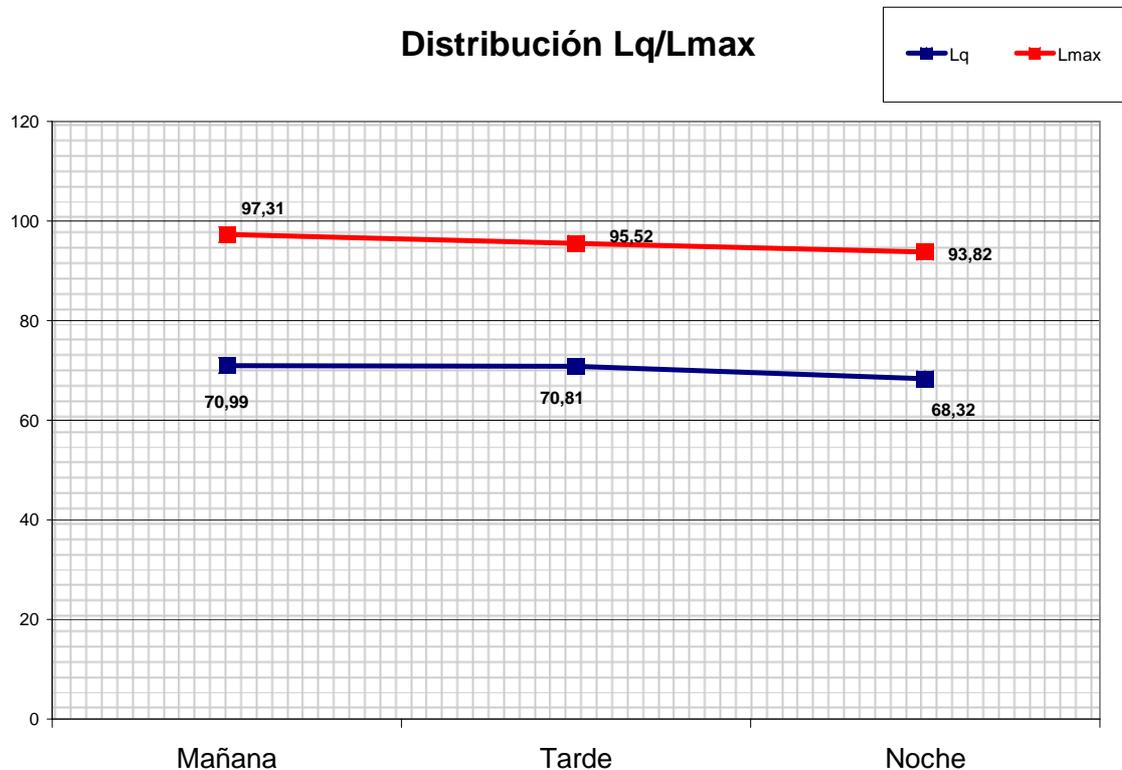


Figura 3.2

3.3 Composición del tráfico por grupos de calles

El siguiente análisis a realizar después de lo visto hasta ahora es la posible respuesta a la pregunta: ¿Influirán de la misma forma los distintos grupos de vehículos si variamos la intensidad del tráfico?.

Para ello se han hecho tres grupos con las calles medidas, según la intensidad media de cada una de ellas durante los tiempos de medición. Se ha tomado un primer grupo de calles con una intensidad de hasta 225 vehículos, un segundo grupo con intensidades entre 225 y 500, y un tercer grupo con intensidades por encima de los 500 vehículos.

Según esta división, quedarían así los grupos: (Tabla 3.9)

Medias de Leq de 66 para el grupo 1, Leq 70 para el grupo 2 y de Leq 74 para el grupo 3 como media.

1,00	N	Valid	134
		Missing	0
	Mean		66,340
2,00	N	Valid	156
		Missing	0
	Mean		69,988
3,00	N	Valid	201
		Missing	0
	Mean		74,037

Tabla 3.9. Grupos por tipo de calle

Estudiamos ahora lo correlación por tipo de vehículo y grupos de calle, volviendo a estandarizar los datos para compensar el diferente número de vehículos de las distintas clases consideradas, obteniendo lo siguiente (Tabla 3.10):

intensidad_intervalo			Leq
1,00	Leq	Pearson Correlation	1
		Sig. (2-tailed)	.
		N	134
	Zscore(N_de_motos) Nº de motos	Pearson Correlation	,171(*)
		Sig. (2-tailed)	,049
		N	134
	Zscore(N_de_turismo s_y_furgonetas) N° de turismos y furgonetas	Pearson Correlation	,520(**)
		Sig. (2-tailed)	,000
		N	134
	Zscore(N_de_Camiones y_autobuses) N° de Camiones y autobuses	Pearson Correlation	,476(**)

		Sig. (2-tailed)	,000
		N	134
2,00	Leq	Pearson Correlation	1
		Sig. (2-tailed)	.
	Zscore(N_de_motoss_y_furgonetas) N° de motos	Pearson Correlation	,111
		Sig. (2-tailed)	,166
	Zscore(N_de_turismoss_y_furgonetas) N° de turismos y furgonetas	Pearson Correlation	,537(**)
		Sig. (2-tailed)	,000
3,00	Leq	Pearson Correlation	1
		Sig. (2-tailed)	.
	Zscore(N_de_motoss_y_furgonetas) N° de motos	Pearson Correlation	,119
		Sig. (2-tailed)	,093
	Zscore(N_de_turismoss_y_furgonetas) N° de turismos y furgonetas	Pearson Correlation	,140(*)
		Sig. (2-tailed)	,047
Zscore(N_de_Camiones_y_autobuses) N° de Camiones y autobuses	Pearson Correlation	,385(**)	
	Sig. (2-tailed)	,004	
		N	201

* Correlación es significativa al nivel 0.05 Sig. (bilateral)

** Correlación es significativa al nivel 0.01 Sig. (bilateral).

Tabla 3.10. Correlaciones

Con esto podemos concluir lo siguiente:

- En las calles del grupo 1 y 2, calles con poca y media intensidad, los que más influyen en el ruido son el grupo de los turismos y furgonetas, con valores bastante similares, seguidos de los camiones y autobuses, y por último las motos con valores muy bajos.
- Se aprecia una clara diferencia entre los dos grupos de calles: en las calles con poca intensidad de tráfico tienen una relación más directa en el Leq los camiones y autobuses que en las calles con intensidades medias. Es decir, en calles pequeñas influirá bastante más en el Leq el paso de algún camión que en calles mayores con más tráfico.
- Si pasamos a estudiar el grupo 3, grandes calles con mucha intensidad de tráfico, vemos un cambio importante, la relación lineal de turismos y furgonetas y de camiones y autobuses con el Leq cae muchísimo, pero es la primera vez que los camiones y autobuses superan al grupo de turismos y furgonetas. Es decir, para valores altos de la Leq con gran intensidad de tráfico, se nota muy poco el incremento de vehículos, sea del grupo que sea, pero influye algo más el aumento en el número de camiones.

4. Conclusiones

Como resumen final de lo visto anteriormente podemos destacar las siguientes conclusiones:

- En la contaminación acústica de Madrid debida al tráfico, los máximos responsables de la Leq medida son los turismos y furgonetas, seguidos de los camiones y autobuses.
- Las motos tienen más influencia en los picos que se producen (L_{max}) que en el ruido medio que se percibe (Leq). Si tenemos en cuenta que las molestias debidas al ruido se perciben más como picos de sonido sobre la media que un ruido de fondo más o menos constante, se podría afirmar de forma genérica que en las calles con mayor circulación de motos las molestias percibidas por las personas son mayores.

- En el análisis por horarios se ve una gran similitud en intensidad y niveles de ruido por la mañana y por la tarde. Por la noche disminuye mucho la intensidad de tráfico, pero no lo hace tanto el nivel de ruido.
- Asimismo, si lo estudiamos por intensidades de tráfico, vemos que en las calles con poca intensidad, normalmente calles pequeñas, el paso de camiones influye más en la Leq que en calles con intensidad medias. Mientras que si consideramos calles con mucha intensidad de tráfico, la relación directa del tráfico en el Leq deja de ser lineal, es decir, aumentos del tráfico en calles grandes con mucha circulación apenas suponen cambios apreciables en el Leq, pero siempre se nota más un aumento en el número de camiones y autobuses que en el número de turismos y furgonetas.

5. Bibliografía

- ALSINA, ANTONI ,CARDONA, JOAN; JIMÉNEZ, SANTIAGO; ROMEU, JORDI; SÁNCHEZ, ÁNGEL. (2006) *Ruido de tráfico, movilidad y planificación urbanística*. Laboratorio de Ingeniería Acústica y Mecánica. Universidad Politécnica de Cataluña y Ayuntamiento de Terrassa. Medio Ambiente y Sostenibilidad. TecniAcústica 2006
- ARNO SCHROTEN L.C. EELCO DEN BOER. (2007). *Traffic noise reduction in Europe. Health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise*. C E Delft. Pag. 32
- COLLADOS E. (1995) *Contaminación acústica y desarrollo urbano*, Seminario taller contaminación acústica y control de ruido urbano: Desafíos y perspectivas. USACH.
- DE ESTEBAN ALONSO, ALFONSO; (2003). *Contaminación acústica y salud*. Observatorio Medio Ambiental ISSN 1139-1987 Pag. 73-95
- HANS C RASMUSSEN. (2002) *Medición de Fuentes Móviles, sus Estrategias , selección de puntos de Monitoreo , manejo y Confiabilidad de la Información*. Seminario técnico administrativo del ruido causado por fuentes móviles (Tráfico rodado). 2002
- MUÑOZ, RODRIGO; (1995). *Ruido: Principios - Clasificación - Control*, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Acústica.

- PERERA MELERO, PLÁCIDO. (1989). *Ruido de Tráfico*. Revista del Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Nº 12: Tráfico en la Ciudad.
- SANTIAGO JIMÉNEZ, JORDI ROMEU, TERESA PAMIES, MERITXELL GENESCA; (2003). *Factores que influyen en la estimación del Lden anual cuando la fuente de ruido es el tráfico rodado*. Tecniacústica.
- SANTOS DE LA CRUZ, EULOGIO; (2007). *Contaminación sonora por ruido vehicular en la Avenida Javier Prado*. Diseño y Tecnología, Mayo 2007
- SEGUÉS ECHAZARRETA, FERNANDO. RUBIO ALFÉREZ, JESÚS. (2008). *Desarrollo de los Planes de Protección frente al ruido*. XI Jornadas de conservación de carretera. Tarragona. Junio 2008
- SUÁREZ, E., (2002). *Metodologías Simplificadas para Estudios en Acústica Ambiental: Aplicación en la Isla de Menorca*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales