

MODELO MATEMATICO DE SIMULACION DEL RUIDO DEBIDO AL TRAFICO RODADO EN LA CIUDAD DE ZARAGOZA

J.Lladó*, F.J.Martínez*, J.Laiz*, H.Pérez*, J.L.Pelegri**

* Dpto. de Ingeniería Mecánica, ** Dpto. de Métodos Estadísticos de la Universidad de Zaragoza

Centro Politécnico Superior. C/ María de Luna, 3 . 50015-ZARAGOZA

INTRODUCCION

La creación de una normativa de control del ruido urbano producido por el tránsito rodado es compleja, debido al carácter irregular de este tipo de ruido, que depende de la fuente sonora así como de las características "físicas" de la zona o calle donde se produce la emisión.

La caracterización matemática del ruido del tráfico rodado es un proceso laborioso, siendo bastante numerosos los trabajos existentes encaminados a la predicción teórica del nivel sonoro.

En esta comunicación, se presenta un modelo teórico semiempírico que permita simular y/o predecir el nivel sonoro equivalente medio, L_{eq} , diurno, y nocturno, en cualquier zona o calle de la Ciudad de Zaragoza, mediante la introducción de una serie de parámetros característicos del punto o lugar, como son, por ejemplo: la pavimentación, la densidad de tráfico, la anchura de la calle, el tipo de construcción de los edificios, la altura media de los edificios, la vegetación, la presencia de un paseo o plazoleta, entre otros.

CONSIDERACIONES PREVIAS A LA ELABORACION DEL MODELO SIMULADOR

A partir de los datos facilitados por el Servicio de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Zaragoza, y referentes a los valores de L_{eq} diurno y L_{eq} nocturno en 486 puntos de medida, así como la densidad de vehículos ligeros y pesados, el objetivo planteado inicialmente fue elaborar diversos simuladores del ruido del tráfico rodado en la ciudad de Zaragoza, para escoger aquel que mejor pueda explicar los niveles continuos equivalentes diurno y nocturno.

Teóricamente, estos modelos deberán predecir el nivel L_{eq} en un punto sabiendo alguna o algunas de las características del mismo. Para la construcción de los modelos simuladores se ha seguido la estrategia de regresión paso a paso con la ayuda del programa STATVIEW en un ordenador Macintosh SE/30. El programa permite realizar regresiones simples y múltiples, así como la posibilidad de transformar las variables que se quiera, según un menú que ofrece entre otras: $\log(x)$, $\log(1+x)$, $\ln(x)$, etc. Según se van realizando las regresiones, aparecen por pantalla del ordenador la ecuación estimada, así como las tablas de análisis de la variante, y de los coeficientes estimados para cada variable explicatoria, con los coeficientes de contraste t y F .

Los resultados de las medidas de ruido, como ya se ha comentado, hacen referencia al punto en que se efectuó la medida, a la densidad de tráfico, y a los niveles sonoros L_{eq} diurno y

L_{eq} nocturno, de ahí que sea necesario efectuar para cada punto de medio un estudio de determinadas características que deberán ser incluidas en los modelos simuladores:

- Longitud de la calle.
- Tipo de firme.
- Número de carriles viales.
- Número de carriles de estacionamiento.
- Sentido de tráfico.
- Anchura de cada carril.
- ¿ Isla interior?
- Anchura de la isla interior.
- Anchura de las aceras.
- Altura media de los edificios.
- Materiales fachada edificios.
- ¿ Calle comercial ?
- Vehículos/hora (ligeros y pesados).
- Variación del porcentaje de vehículos pesados en función del tiempo (vehículos pesados > 1.500 kg.).
- Pendiente de la calle.
- Existencia y tipo de vegetación.

La Ciudad de Zaragoza, exceptuando la margen izquierda del Río Ebro, se ha dividido en 11 zonas o subconjuntos, cuyas características son similares, resultando que en algunas zonas se tiene un gran número de puntos de medida, mientras que en otras el número es muy pequeño, por lo que los modelos obtenidos no serán muy fiables. Estos subconjuntos son : Casco Viejo, Delicias, Barrio Oliver, Las Fuentes, San José, Sector Romareda, Zona Central, Torrero, Valdefierro, Almozara y Zaragoza Urbana, en definitiva la mayoría de los principales distritos de la Ciudad.

MODELOS SIMULADORES DEL L_{eq} diurno Y L_{eq} nocturno

En las tablas 1 y 2 se resumen los modelos semiempíricos obtenidos para las distintas zonas en que se ha dividido la Ciudad de Zaragoza, donde las características más influyentes han sido:

- % P, porcentaje de vehículos pesados
- (LL/h) /D, densidad horaria vehículos ligeros dividido por la anchura de la calle
- V/h, densidad horaria de vehículos ligeros y pesados
- VL/h, densidad horaria de vehículos ligeros
- Z, variable atributo 1 si es calle comercial, y 0 en caso contrario.
- (V/h) /D, densidad horaria de vehículos dividido por la anchura de la calle.

La interpretación de los coeficientes que corresponden al modelo simulador diurno del Casco Viejo, es la siguiente:

- El coeficiente %P se interpreta, aproximadamente, como el incremento porcentual que experimenta el L_{eq} cuando %P aumenta una unidad.

- El coeficiente VL/h representa el incremento porcentual de L_{eq} cuando VL/h. aumenta un 1 %. Así mismo, este coeficiente representa también el decremento porcentual de L_{eq} cuando D aumenta un 1 %.

TABLA RESUMEN. Leq DIURNO

ZONA	MODELO	R ²	S _R	t*	N
Casco Viejo	$\text{Ln Leq} = 4.022 + 0.005 \%p + 0.049 \text{Ln}[(\text{VL/h})/D]$ (3.137) (6.05)	0.808	0.038	t*(0.05;29) = 2.04	32
Delicias	$\text{Leq} = 58.054 + 0.326 \%p + 2.255 \text{Ln}[(\text{VL/h})/D]$ (2.784) (4.537)	0.469	3.759	t*(0.05;47) = 2.01	50
B. Oliver	$\text{Leq} = 50.415 + 2.752 \text{Ln V/h.}$ (7.136)	0.761	3.069	t*(0.05;16) = 2.12	18
Las Fuentes	$\text{Leq} = 60.753 + 1.99 \text{Ln}[(\text{VL/h})/D]$ (4.103)	0.352	3.502	t*(0.05;31) = 2.039	33
San Jose	$\text{Leq} = 53.656 + 0.416 \%p + 3.577 \text{Ln}[(\text{VL/h})/D]$ (3.195) (3.017)	0.389	3.66	t*(0.05;44) = 2.01	47
Sec. Romareda	$\text{Leq} = 58.569 + 0.258 \%p + 1.761 \text{Ln}[(\text{VL/h})/D]$ (2.09) (3.483)	0.452	3.047	t*(0.05;34) = 2.03	37
Zona Central	$\text{Leq} = 55.574 + 0.295 \%p + 3.271 \text{Ln}[(\text{VL/h})/D]$ (3.004) (8.202)	0.69	2.867	t*(0.05;47) = 2.0	50
Torrero	$\text{Leq} = 57.465 + 2.152 \text{Ln}[(\text{V/h})/D]$ (3.725)	0.309	3.474	t*(0.05;31) = 2.04	34
Valdeierro	$\text{Leq} = 51.511 + 0.23 \%p + 2.275 \text{Ln VL/h.}$ (2.92) (5.19)	0.679	2.27	t*(0.05;16) = 2.12	19
Almozara	$\text{Leq} = 58.101 + 1.585 \text{Ln}[(\text{V/h})/D]$ (2.219)	0.225	3.583	t*(0.05;17) = 2.11	19
Zar. Urbana	$\text{Leq} = 56.781 + 0.232 \%p + 2.603 \text{Ln}[(\text{VL/h})/D] + 1.71 Z$ (4.768) (13.061) (2.796)	0.566	3.425	t*(0.05;277) = 1.9	281

NOTA: Entre parentesis figuran los estadisticos t para los coeficientes β

TABLA RESUMEN. Leq NOCTURNO

ZONA	MODELO	R ²	S _R	t*	N
Casco Viejo	$\text{Leq} = 55.249 + 2.642 \text{Ln}[(\text{V/h})/D]$ (4.531)	0.415	4.327	t*(0.05;29) = 2.045	31
Delicias	$\text{Leq} = 53.451 + 0.167 \%p + 3.557 \text{Ln}[(\text{VL/h})/D]$ (2.409) (7.659)	0.676	3.239	t*(0.05;47) = 2.01	50
Las Fuentes	$\text{Leq} = 49.884 + 0.151 \%p + 0.74 \text{Ln}[(\text{VL/h})/D]$ (1.905) (4.433)	0.551	3.058	t*(0.10;29) = 1.7	32
San Jose	$\text{Leq} = 52.622 + 2.694 \text{Ln}[(\text{V/h})/D]$ (5.328)	0.403	4.135	t*(0.05;42) = 2.02	44
Sec. Romareda	$\text{Leq} = 56.225 + 2.409 \text{Ln}[(\text{V/h})/D]$ (4.6)	0.398	3.507	t*(0.05;32) = 2.04	34
Zona Central	$\text{Leq} = 56.681 + 2.67 \text{Ln}[(\text{V/h})/D]$ (4.811)	0.325	4.55	t*(0.05;47) = 2.01	50
Torrero	$\text{Leq} = 50.257 + 1.574 \text{Ln}[(\text{V/h})/D]$ (3.459)	0.324	2.109	t*(0.05;25) = 2.06	27
Valdeierro	$\text{Leq} = 52.52 + 3.079 \text{Ln}[(\text{V/h})/D]$ (5.155)	0.61	2.579	t*(0.05;17) = 2.109	19
Almozara	$\text{Leq} = 54.573 + 1.293 \text{Ln}[(\text{V/h})/D]$ (3.364)	0.4	2.118	t*(0.05;17) = 2.11	19
Zar. Urbana	$\text{Leq} = 53.729 + 0.239 \%p + 2.79 \text{Ln}[(\text{VL/h})/D]$ (5.605) (12.92)	0.494	4.1	t*(0.05;262) = 1.9	265

NOTA: Entre parentesis figuran los estadisticos t para los coeficientes β

- El coeficiente de determinación es 0,808, lo cual significa que alrededor de un 81 % de la variación total de las observaciones con respecto a su media puede explicarse por las tres variables de predicción incluidas en la ecuación de regresión. A primera vista parece sorprendente el alto coeficiente de correlación obtenido. Esto es consecuencia de que las variaciones de L_{eq} están mucho más fuertemente determinadas por VL/h. que por %P y D.

El análisis de los residuos permite sugerir que la ecuación de regresión es altamente satisfactoria, ya que éstos no presentan en ningún caso estructura, (ver figura 1).

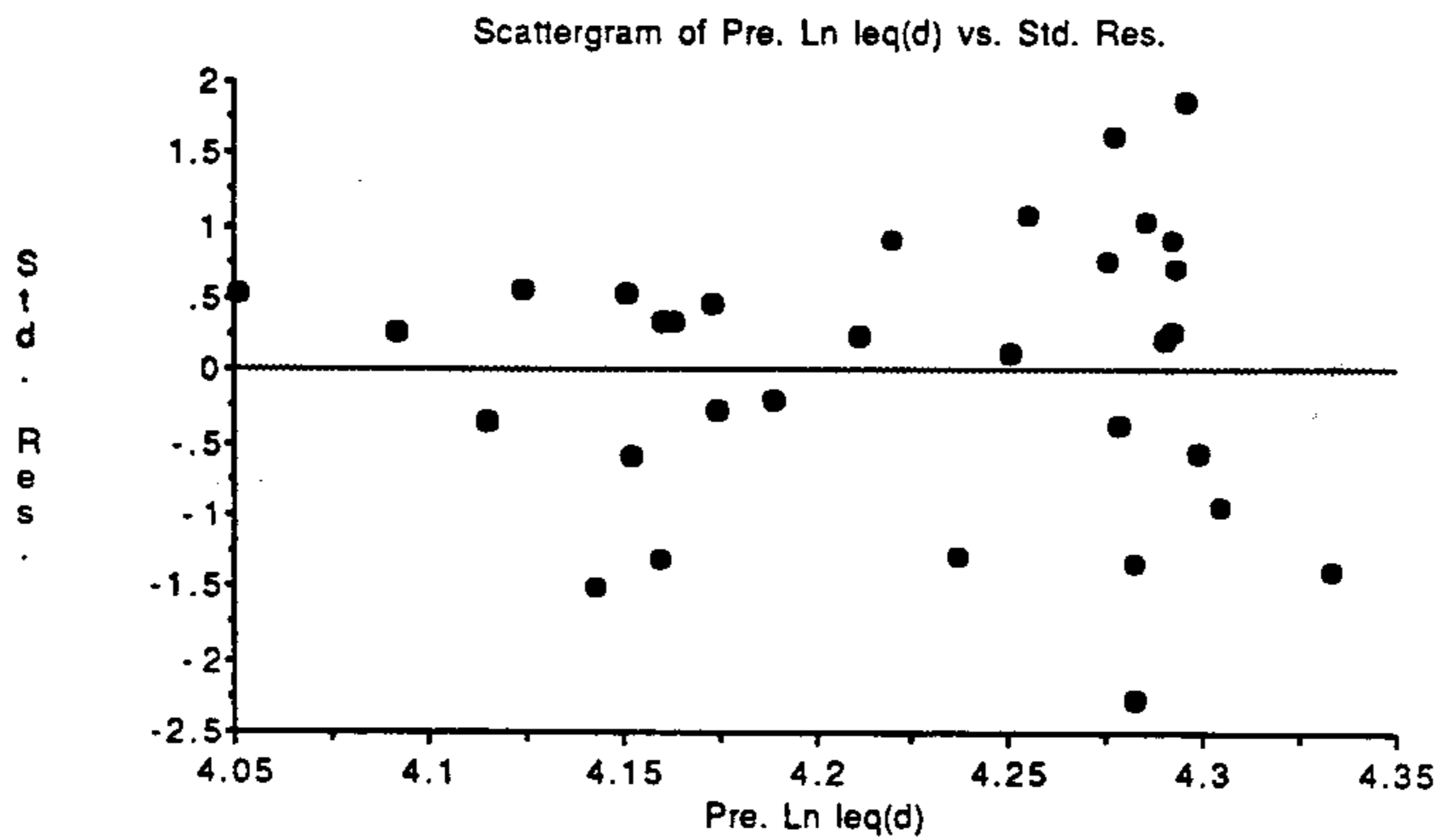


Figura 1. Gráfico de residuos frente a valores estimados.

Finalmente, interesa destacar que, debido a las fluctuaciones del tráfico nocturno, y su poca homogeneidad, se producen correlaciones menores que las obtenidas en los modelos diurnos.