

Modelo matemático para la medida del L_{eq} en zonas urbanas de Chile

J.I. Sánchez Rivera, J. González Suárez, J. Arenas Bermúdez* y V. Poblete*.

Dpto de Física. ETS de Arquitectura. Universidad de Valladolid

Avda. de Salamanca s/n. 47014 - Valladolid (España)

**Instituto de Acústica. Universidad Austral. Valdivia (Chile).*

INTRODUCCIÓN

El aumento del parque automovilístico y el aumento de población en las ciudades de Chile, donde urbes como Santiago superan los 4,5 millones de habitantes, ha motivado una creciente preocupación por el control del ruido al que se ven sometidos los ciudadanos.

Dicho control conlleva la medida en un número suficiente de estaciones que permita conocer la distribución espacial del fenómeno. También es preciso realizarlas en un intervalo de tiempo que explique sus periodicidades. Esta complejidad aconseja realizar la medida del ruido indirectamente, a través de otra magnitud de más fácil observación - el aforo de vehículos - y, por medio de ecuaciones que relacionen los aforos con el nivel sonoro, conocer este último.

Las ecuaciones deducidas por Brambilla para Italia exigen el ajuste de los coeficientes para el parque automovilístico de que se trate. En esta comunicación se han hallado esos coeficientes para el caso de Chile en 1995, a partir una campaña de medidas realizada en la ciudad de Valdivia, y se ha discutido a cerca de términos que mejoran la precisión del modelo matemático.

EL TIPO DE TRÁFICO CIRCULANTE EN CHILE

Se han realizado, en un mismo punto, medidas del nivel sonoro producido por vehículos ligeros pesados y buses urbanos. Se consideran vehículos pesados todos aquellos con peso superior a los 3.500kg. Los buses son un tipo particular de vehículos pesados con un tamaño en general homogéneo, pero con muy diferentes cualidades en cuanto a estado de conservación. Debido a su abundancia en el parque automovilístico, se realizó un conteaje aparte de este tipo de vehículos.

En su conjunto, tras 562 observaciones realizadas, el nivel de emisión del parque automovilístico presenta un histograma recogido en la figura 1, con nivel medio recibido en la estación de medida de 79,2dBA y desviación típica 5,28. La línea de trazos representa el ajuste a una distribución Normal de igual media y desviación típica. Realizado el test para la bondad del ajuste, resultó que no es posible considerar aceptable tal ajuste para un nivel de confianza razonable. Hemos de considerar pues por separado la medida del nivel sonoro de los vehículos ligeros y de los pesados.

RUIDO DE VEHÍCULOS LIGEROS Y PESADOS

Una vez separados los vehículos ligeros y pesados se procedió al ajuste de sus histogramas en frecuencia por medio de

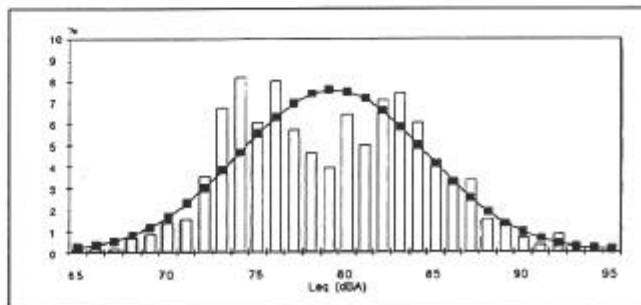


Figura 1: Histograma del ruido de vehículos y ajuste a distribución Normal (línea de trazos)

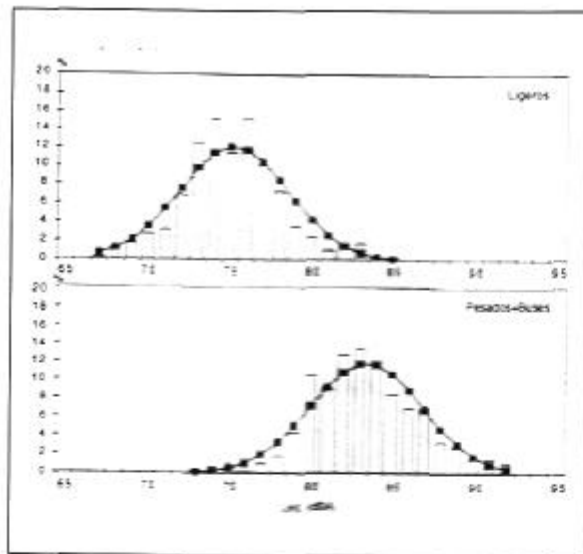


Figura 2: Histograma del ruido de vehículos y ajuste a distribución Normal de los vehículos ligeros y de todos los pesados.

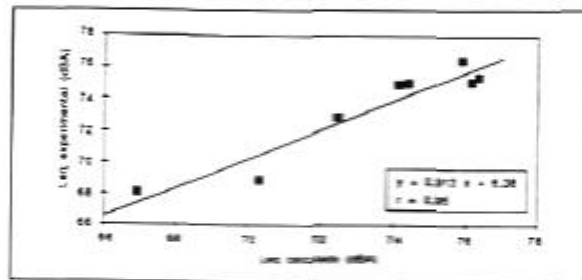


Figura 3: Leq calculada y experimental para el conteo de vehículos ligeros y pesados en Valdivia.

distribuciones Normales de la misma media y desviación típica, siendo estos valores 75,2dB(A (3,29) para los ligeros, y 83,4 (3,38) para los pesados. Los test realizados sobre la bondad del ajuste avalan que ambas distribuciones son Normales.

En la figura 2 se pueden apreciar los ajustes a Normal sobre los histogramas de frecuencias. Se ha aplicado un test sobre diferencia de medias, resultando que ambas poblaciones de datos (ruido de vehículos ligeros y de pesados) son diferentes estadísticamente.

LAS ECUACIONES DE CÁLCULO DEL LEQ

La ecuación desarrollada por Brambilla para el cálculo del Leq, en dB(A), es:

$$Leq = \alpha + 10 \log (N_L + \beta N_W) + 10 \log (d_0/d) + \Delta L_V + \Delta L_P + \Delta L_B + \Delta L_S + \Delta L_G + \Delta L_{VB}$$

donde N_L y N_W son el aforo de vehículos ligeros y pesados, d la distancia del punto de medida al eje de la calzada y d_0 una distancia de referencia de 25m. Los demás sumandos son términos referentes a la geometría del vial, su pendiente, tipo de firme, velocidad de los vehículos y circunstancias del tráfico. Por fin los coeficientes α y β , que son los que ajustan el resultado teórico al experimental, representan lo siguiente: por una parte β pondera a cuántos vehículos ligeros equivale el paso de un solo vehículo pesado, y α representa el ruido que se mediría ante el paso de un único vehículo ligero en circunstancias tales que todos los demás sumandos fueran iguales a cero. En aquel caso, $\alpha = 35,1$ y $\beta = 8$.

Cálculo del coeficiente β

Bajo la hipótesis de que circulara un único vehículo ligero o pesado, las ecuaciones serían, respectivamente:

$$Leq_L = \alpha + 10 \log (1+0\beta) + \dots \quad \text{y} \quad Leq_W = \alpha + 10 \log (0+\beta) + \dots$$

por lo que sumando y despejando β , obtendríamos:

$$\beta = 10^{(Leq_W - Leq_L)/10}$$

Siendo Leq_W y Leq_L los obtenidos experimentalmente, resultando $\beta = 6,6$

Cálculo del coeficiente α :

Se han realizado medidas de aforos y Leq en diferentes calles con distintas geometrías y densidades de tráfico, resultando un coeficiente medio $\alpha = 34,0$.

El acuerdo entre medidas experimentales y teóricas de Leq en las calles de la ciudad viene representado en la figura 3, donde se comprueba que la pendiente es muy próxima a 1, la ordenada en el origen 6,38 y el coeficiente de correlación del 95%.

Así pues, la ecuación se nos presenta como:

$$Leq = 34,0 + 10 \log (N_L + 6,6 \cdot N_W) + \dots$$

AFORO DE MAYOR PRECISIÓN

Con el fin de mejorar la precisión de la ecuación se han separado los vehículos pesados en dos grupos: los buses y el resto de vehículos pesados. Para un control futuro del tráfico, el conteo de buses no ofrece en general dificultad alguna ya que pertenecen a líneas regulares y sus horarios son fijos, por lo que su aforo por hora también lo es. En esta experiencia el conteo se hizo simultáneamente a la medida. Por otra parte, la abundancia de este tipo de transporte en las calles chilenas aconsejan considerarlo como tipo de vehículo.

Realizados los histogramas de frecuencia (que aparecen en la figura 5) se procedió a su ajuste a distribución Normal con igual media y desviación típica, que en este caso resultaron para ligeros 75,2dBA (3,29), para los pesados 84,9dBA (3,61) y para los buses 83,0dBA (3,38). Los test sobre bondad del ajuste dieron por resultado en todos los casos que el ruido producido por los vehículos pesados y los buses son distribuciones Normales. Realizado el test sobre diferencia de medias resultó que ambas son poblaciones estadísticas de medias diferentes entre sí, y diferentes a las de los vehículos ligeros.

La ecuación del Nivel en dBA se completa en este caso con un sumando más en el término de aforos, y con un coeficiente γ que significa el número de vehículos ligeros a los que equivale un bus en producción de ruido:

$$Leq = \alpha + 10 \log (N_L + \beta N_W + \gamma N_B) + 10 \log (d_r/d) + \Delta L_V + \Delta L_F + \Delta L_B + \Delta L_S + \Delta L_G + \Delta L_{VB}$$

Bajo la hipótesis de que circulara un único vehículo ligero o pesado o bus, las ecuaciones serían, respectivamente: $Leq_L = \alpha + 10 \log (1) + \dots$; $Leq_W = \alpha + 10 \log (\beta) + \dots$ y $Leq_B = \alpha + 10 \log (\gamma)$ por lo que sumando y despejando β y γ , obtendríamos:

$$\beta = 10^{(Leq_W - Leq_L)/10}$$

$$\gamma = 10^{(Leq_B - Leq_L)/10}$$

Siendo Leq_B , Leq_W y Leq_L las medias experimentales, resultando $\beta = 9,2$ y $\gamma = 6,0$.

Con estos valores, se procedió al cálculo del coeficiente α . Se han realizado medidas de aforos y Leq en diferentes calles con distintas geometrías y densidades de tráfico, resultando un coeficiente medio $\alpha = 33,6$.

El acuerdo entre medidas experimentales y teóricas de Leq en las calles de la ciudad viene representado en la figura 4, donde se comprueba que la pendiente es muy próxima a 1, la ordenada en el origen 4,92 y el coeficiente de correlación del 96%.

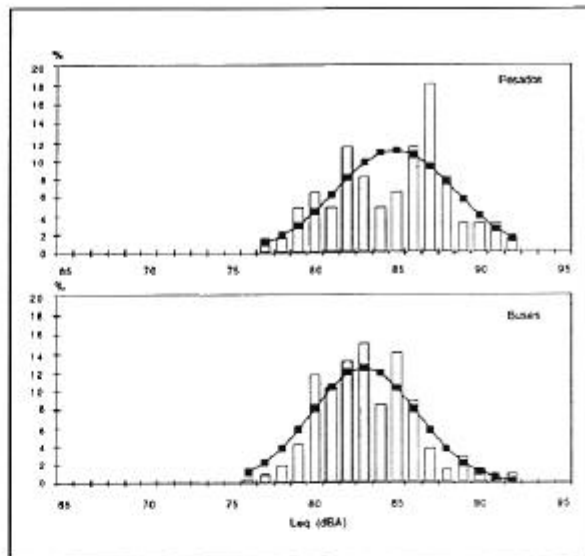


Figura 4: Histograma del ruido de vehículos y ajuste a distribución Normal de los vehículos pesados y de los buses considerados aparte

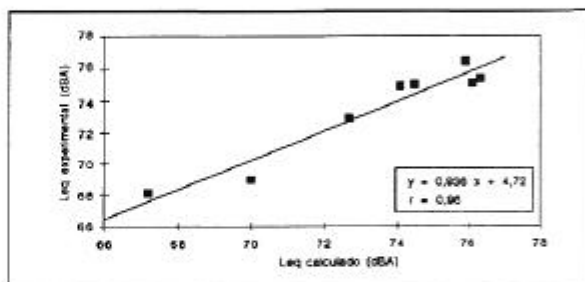


Figura 5: Leq calculado y experimental para el conteo de vehículos ligeros y pesados en Valdivia.

Por lo tanto, con este desglose de los vehículos pesados en dos subgrupos se consigue una mayor precisión en las medidas indirectas del L_{eq} a partir de los valores de aforos.

COMPARACIÓN CON LOS VALORES EUROPEOS

Con pocos meses de diferencia se han medido estos coeficientes en Valladolid (España), resultando a $\alpha = 32,1$ y $\beta = 6,1$. Resulta pues que el vehículo europeo medio es entre 1,5 y 2 dBA más silencioso que el medido sobre los viales chilenos lo cual ha de deberse al diferente estado de conservación del vehículo, distintos hábitos de conducción y, especialmente, a las diferentes marcas que se distribuyen en ambos mercados, pues en Europa las marcas han de cumplir las directivas comunitarias. No se ha de desdeñar el gusto sureño por el vehículo todo-terreno, considerado como vehículo ligero. De realizarse la medida en un medio más urbano, Santiago por ejemplo, esta circunstancia podría alterar parcialmente este resultado.

Agradecimientos: este trabajo ha podido ser realizado merced al auspicio del Ministerio de Asuntos Exteriores de España, dentro del Programa Intercampus, y ha contado con la desinteresada colaboración de los alumnos del Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile en la toma de datos de campo.