

VALIDEZ DEL L_{eq} COMO INDICADOR DEL RUIDO DE TRANSITO

Velis, Ariel¹; Basso, Gustavo²; Armas, Alejandro¹; Bontti, Horacio¹; Méndez, Antonio¹.

¹ Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (LAL).
Camino Centenario entre 505 y 508. CP 1897 Manuel B. Gonnet. Pcia. de Buenos Aires. Rep. Argentina. Tel: 54 221 484 2686 / 471 2721 Fax: 54 221 484 2686 / 471 2721
E-mail: ciclal@gba.gov.ar

² Facultad de Bellas Artes de la Universidad Nacional de La Plata
Calle 5 N° 84. CP 1900 - La Plata - Pcia. Buenos Aires - Rep. Argentina.
Tel: + (54)-(221) 4259119
E-mail: basso@isis.unlp.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se analiza el comportamiento de los parámetros acústicos L_{eq} , L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{99} , L_{min} y L_{max} como indicadores de ruido vehicular, medidos en condiciones controladas de laboratorio. Con este objeto se simularon situaciones acústicas artificiales, de igual longitud temporal pero diferente composición estructural, basadas en un registro real del pasaje de un vehículo y utilizando ruido rosa como ruido de fondo. La conclusión más destacada del experimento es que se pueden establecer dos escenarios en los que los indicadores mencionados se comportan de manera marcadamente diferente. En uno de estos escenarios el L_{eq} actúa tal como señala la literatura corriente, pero en el otro no.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las personas acuerdan que las molestias provocadas por el ruido de tránsito son función de los niveles de ruido y del tiempo de exposición: los períodos cortos a altos niveles son los más molestos. El nivel sonoro continuo equivalente L_{eq} reparte los efectos de los instantes de gran nivel, y se correlaciona razonablemente bien en situaciones acústicas “normales”, provocadas por un tránsito estable de gran cantidad de vehículos. Sin embargo, este parámetro parece fallar al describir situaciones menos regulares.

Numerosas publicaciones han intentado demostrar la validez o invalidez del

nivel sonoro continuo equivalente (L_{eq}) para caracterizar el ruido de tránsito en una ciudad. Muchos de estos trabajos se han centrado en la relación entre la señal acústica objetiva y las molestias provocadas por dichas señales. Se formularon algunas hipótesis que establecían que el L_{eq} resultaba suficiente para la descripción de todas las situaciones posibles, otras que proponían la incorporación de parámetros diferentes, y aún se llegó a conjeturar sobre la posibilidad de la existencia de variables ocultas más allá del L_{eq} o de otras magnitudes conocidas.

En un trabajo temprano, Gregory Cermak ([Cermak, 1979¹](#)) concluyó que el L_{eq} es el mejor predictor de las molestias provocadas por el ruido de tránsito. En aquellos casos en los que el nivel equivalente resultaba insuficiente para discriminar dos situaciones auditivamente discriminables, propuso establecer diferencias entre estímulos a partir de la complejidad espectral de cada señal medida a partir del modelo de Cornillon y Keane (1977). El estudio de Cermak, aunque muy completo, se limitaba a muestras de corta duración que incluían el paso de un sólo vehículo por registro. El autor declaraba que, en el caso de que no aparezca más que un vehículo en un registro de gran duración, el L_{eq} apenas sería alterado por este evento, aunque el efecto subjetivo fuese grande. Sugería en estos casos reemplazar el L_{eq} por otros parámetros, entre los que podrían figurar el $L_{m\acute{a}x}$ o un percentil como L_1 .

En varios trabajos posteriores, otros investigadores llegaron a la conclusión de que el L_{eq} no se correlaciona con las respuestas subjetivas en todas las situaciones prácticas, en especial cuando la frecuencia o la distribución temporal del tránsito presenta características “inusuales” ([Gjestland y Oftedal, 1980²](#)). En particular, existen ejemplos de escenarios acústicamente diferentes con idéntico L_{eq} , tal como veremos más adelante en este artículo.

No debemos olvidar en este punto que los parámetros candidatos a constituirse en indicadores de ruido de tránsito tienen que cumplir con numerosos requisitos, que los habiliten tanto desde el punto de vista de la validez científica como desde la aplicabilidad práctica:

1. Validez: el indicador debe estar relacionado con los efectos que se desean describir (por ejemplo interferencia a la palabra, molestias, perturbación del sueño, etc.).

2. Aplicabilidad práctica: Debe ser fácilmente calculable a partir de datos obtenidos mediante sistemas de medición corrientes.
3. Aplicabilidad legal: Debe permitir la gestión medioambiental urbana a partir del establecimiento de límites y zonificaciones.
4. Transparencia: Debe ser sencillo de explicar, intuitivo, y lo más simple posible.

Algunos de estos requisitos pueden resultar mutuamente excluyentes en algunos casos. Por ejemplo el de validez y aplicabilidad práctica.

Como existe una amplia gama de posibles candidatos, vamos a limitar nuestra búsqueda a los indicadores básicos –aquellos que pueden ser considerados como cantidades puramente físicas-, dejando para etapas posteriores los indicadores compuestos (por ejemplo el L_{den}) y los indicadores complejos (tales como el *noise class*). En cuanto a los indicadores estadísticos de la serie L_n , como L_{10} y L_{90} , que han sido cuestionados en recientes publicaciones, creemos que deben ser examinados con mayor detalle y que probablemente puedan ocupar un lugar destacado en combinación con otros indicadores no estadísticos.

En la génesis de este trabajo se encuentra la necesidad de hallar indicadores físicos más apropiados para caracterizar el ruido de tránsito en las ciudades. La exploración se inició con el testeo de una metodología de medición a aplicar en la ciudad de La Plata, Argentina. En tales casos es usual emplear el nivel sonoro continuo equivalente L_{eq} como principal parámetro acústico. Sin embargo, pronto se mostró insuficiente e inadecuado en ciertas circunstancias. Numerosas situaciones reales quedaban ostensiblemente mal caracterizadas por el L_{eq} , en especial las que no exhibían un tránsito intenso tal como ocurre en ciertas áreas residenciales.

En consecuencia se inició una serie de experiencias controladas en laboratorio con el fin de determinar la significación y utilidad de varios parámetros energéticos y estadísticos, eliminar redundancias y correlaciones, y elegir los que mejor caractericen cada una de las situaciones simuladas. En esta etapa no se consideró el complejo tema de las molestias que provoca el ruido urbano, sólo se

estudió la señal acústica que actúa como causa de dicha molestia. El estudio fundamental de las correlaciones entre estímulo físico y respuesta psicológica queda, entonces, para presentaciones ulteriores.

Un oyente medio evalúa una situación acústica dada a partir de al menos ciertos datos primarios: el valor absoluto de ciertos niveles (L_{eq} , $L_{máx}$, L_{10} , etc.), el de alguna combinación entre estos niveles (L_{10} - L_{90} , etc.), o desde el análisis de ciertos patrones estructurales de la señal acústica, en especial el patrón temporal. Por ejemplo, el ruido generado en una avenida muy transitada cambia en el valor de los parámetros energéticos –por ejemplo el L_{eq} - al alejarse el oyente, pero éste aún puede caracterizar la situación como “ruido de avenida alejada”. Una combinación de parámetros energéticos, estadísticos y estructurales podría, en principio, dar cuenta de un caso como el anterior.

En lo que sigue se describe la experiencia de laboratorio realizada, se analizan los resultados obtenidos, y se perfila la continuación de este trabajo, cuyo fin último es hallar un conjunto de parámetros adecuado a cada una de las situaciones características del ruido tránsito en las ciudades.

DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

La idea central fue la de recrear diferentes situaciones de ruido de tránsito, en donde las variables que lo componen puedan minimizarse y controlarse a voluntad. De esta manera, se estaría en condiciones de poder evaluar el comportamiento de algunos de los parámetros acústicos estadísticos que deriven de mediciones de dichas situaciones.

Para ello se pensó en realizar varios registros simulados de ruido de tránsito ("registros de medición") en donde, inicialmente, la única variable a modificar sea el número de vehículos que los componen. Una vez fabricados estos registros de medición, serían reproducidos en la cámara anecoica, por intermedio de un sistema de amplificación y de altavoces, para que, mediante el uso de un medidor de nivel sonoro, puedan ser medidos los parámetros acústicos que deseaban estudiarse.

Para la fabricación de los registros de medición, fue seleccionado uno de los varios registros grabados en condiciones reales del pasaje de vehículos aislados. La figura 1 muestra la característica temporal de dicho registro, al cual se denominará "registro de pasaje base".

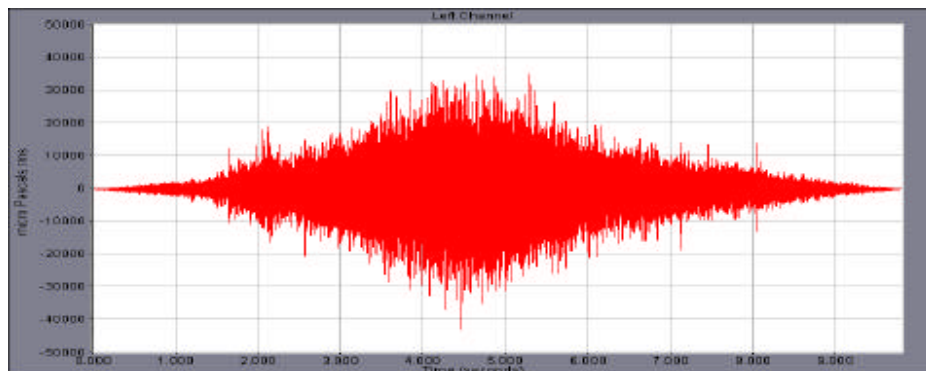


Figura 0. "Registro de pasaje base", correspondiente a la grabación real del pasaje de un vehículo aislado.

Se procedió luego entonces a la fabricación de un registro de 5 minutos de longitud temporal, mediante el uso de un programa de manejo de archivos de sonido para computadora. A este registro, inicialmente vacío, se le grabó un ruido rosa de tal forma de completar los cinco minutos, utilizándose para tal fin un generador de ruido

de laboratorio y el programa de computadora anteriormente mencionado. Se obtuvo entonces un registro, llamado "registro de arranque" el cual se podía asumir como una grabación de cinco minutos en donde no haya pasado ningún vehículo. A partir de él, y mediante un procesamiento computarizado, se fueron obteniendo los diferentes registros de medición, correspondientes al pasaje de 1 solo vehículo, de 2, de 3, y así sucesivamente hasta obtener un último correspondiente al pasaje de 100 vehículos (en todos los casos, la duración del registro se mantenía en cinco minutos). En la figura 2 se puede observar como queda conformado un registro de medición, en ese caso correspondiente al pasaje de 10 vehículos, lo cual correspondería a una densidad de tránsito promedio de 2 vehículos por minuto. Es importante observar que este caso no existe superposición alguna de los diferentes eventos que componen el registro (excepto el ruido de fondo, el cual siempre está superpuesto). En la figura 3, se puede observar un ejemplo del registro correspondiente al pasaje de 60 vehículos (densidad de 12 vehículos por minuto). En este caso, se puede notar la superposición o solapamiento de los eventos, la cual se hizo en forma arbitraria.

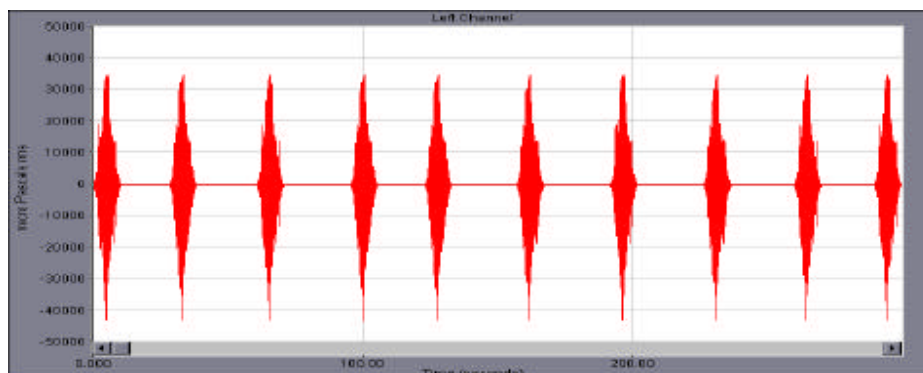


Figura 0. Registro de medición, correspondiente al pasaje de 10 vehículos en 5 minutos (densidad promedio = 2 vehículos por minuto).

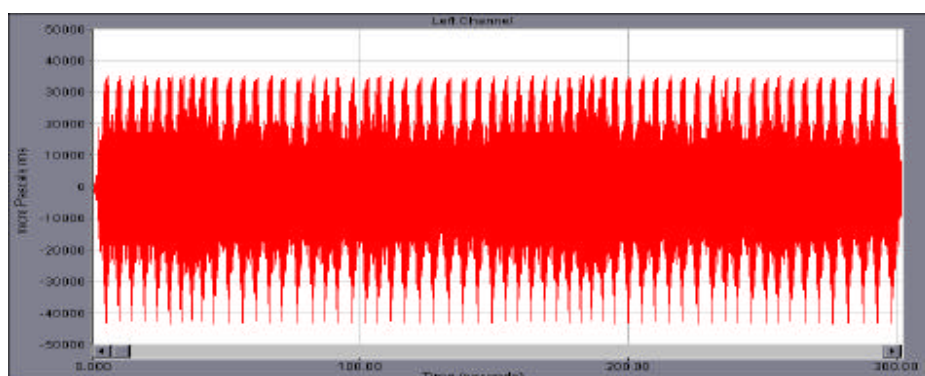


Figura 0. Registro de medición, correspondiente al pasaje de 60 vehículos en 5 minutos (densidad promedio = 12 vehículos por minuto).

Los registros así conformados fueron reproducidos desde la computadora, enviados a un amplificador de audio, cuya salida se conectó a un sistema de altoparlantes ubicado en la cámara anecoica del laboratorio. El sonido fue captado por un micrófono ubicado a un punto fijo de la cámara y luego enviado a un medidor de nivel sonoro tipo 1, marca Larson Davis, modelo 2900. Este medidor posee la posibilidad de calcular tanto el L_{eq} en el tiempo deseado, como también los parámetros estadísticos que se pretendían analizar, es decir L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{99} , L_{min} y L_{max} . Es importante destacar aquí que, este instrumento, y al igual que prácticamente la totalidad de los de su tipo, calculan los percentiles L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{99} (o cualquier otro que se desee) en función de porcentajes *temporales* y no en términos energéticos. Por lo tanto, el L_{10} , por ejemplo, será "el nivel sonoro que es alcanzado y/o superado durante el 10% del tiempo", y no como energéticamente se esperaría, es decir, "el nivel sonoro por encima del cual se concentra 10% de la energía total del registro". Es importante tener en cuenta esto, ya que los comportamientos para bajas densidades de vehículos varían sustancialmente según el caso, lo cual se verá más adelante. La decisión de utilizar este tipo de definición de los percentiles (sobre la base de "tiempos") surge directamente del hecho de que ese tipo de definición, es la que da la Norma Internacional [ISO 1996 parte 1](#)³, y por ende es la que utiliza tanto el instrumento utilizado en este trabajo, como casi la totalidad de los medidores de ese tipo, y además son los utilizados para las mediciones de ruido de tránsito.

Con respecto a los niveles a los cuales fueron reproducidos los registros de medición, es importante destacar que fueron los mismos que los que existían en el momento de la grabación original. Para ello, se grabó una señal de calibración (registro de calibración) y con respecto a ella se procesaron los archivos de manera tal que en el punto de medición en la cámara anecoica, los valores instantáneos de nivel de presión sonora sean iguales a los originales (a los relevados en la calle). Además, el ruido rosa de fondo, fue ajustado para que en esas condiciones de reproducción, posea un L_{eq} de 40 dB. Se utilizó este nivel para poder tener controlado justamente el ruido de fondo (puesto que este nivel enmascara cualquier ruido eléctrico de salida del amplificador).

RESULTADOS

Los resultados generales de la experiencia se pueden apreciar en el gráfico de la figura 4.

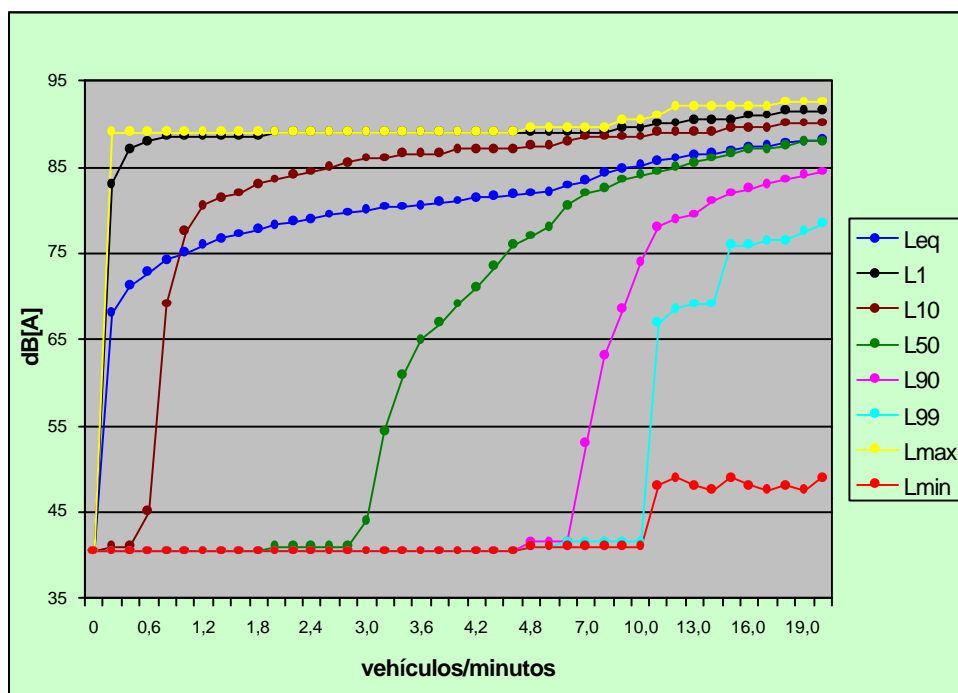


Figura 0. Variación de los parámetros estadísticos medidos en función de la densidad promedio de vehículos.

Se puede observar aquí que cada una de las curvas del comportamiento de los parámetros estadísticos, presenta tres segmentos diferenciados. El primero de ellos, abarca desde cero hasta el "umbral de disparo" (diferente en cada uno de los parámetros), y en él dicho parámetro estadístico toma el valor del ruido de fondo, lo cual se debe a la consideración de porcentajes temporales en vez de energéticos, según se explicó anteriormente. Así, el L_1 , por ejemplo, se "disparará" (excederá el nivel del ruido de fondo) recién cuando el 1% del tiempo del registro esté completo con eventos; el L_{10} , sólo cuando el 10% lo esté; y así sucesivamente hasta que, por ejemplo, el L_{\min} lo hará cuando el 100% esté completo. Por otro lado, el L_{eq} no presenta dicha región, ya que es un parámetro puramente energético. El segundo segmento, que comprende desde el punto de disparo hasta el valor de estabilización, se caracteriza por el comportamiento complejo que siguen cada uno de los diferentes parámetros. En el tercer segmento, de estabilidad o saturación, la progresión de los valores es monótona y ordenada.

Analizando el gráfico en forma global, es decir, teniendo en cuenta todos los parámetros y sus correlaciones, se puede observar un punto de quiebre que separa al gráfico en dos zonas de comportamientos diferentes. Este punto, se encuentra en nuestro caso, en alrededor de los 5 vehículos/minuto, y tiene las siguientes particularidades: por debajo de él no existe superposición de los eventos y sí espacios entre ellos; por encima de él hay superposición, pero no espacios ocupados sólo por ruido de fondo (en esta etapa de investigación, se decidió trabajar de esta forma). Analizaremos cada una de estas dos zonas por separado.

Primera zona (zona sin solapamiento de eventos)

En el gráfico de la figura 5 se aprecia la variación de los parámetros en esta zona, hasta el valor de 4,8 vehículos/minuto. Se observa que cada parámetro, ya sea energético o estadístico, posee características de crecimiento particulares: presenta un primer tramo de identidad con el ruido de fondo y comienza luego a incrementarse rápidamente a partir de determinado valor (el "umbral de disparo").

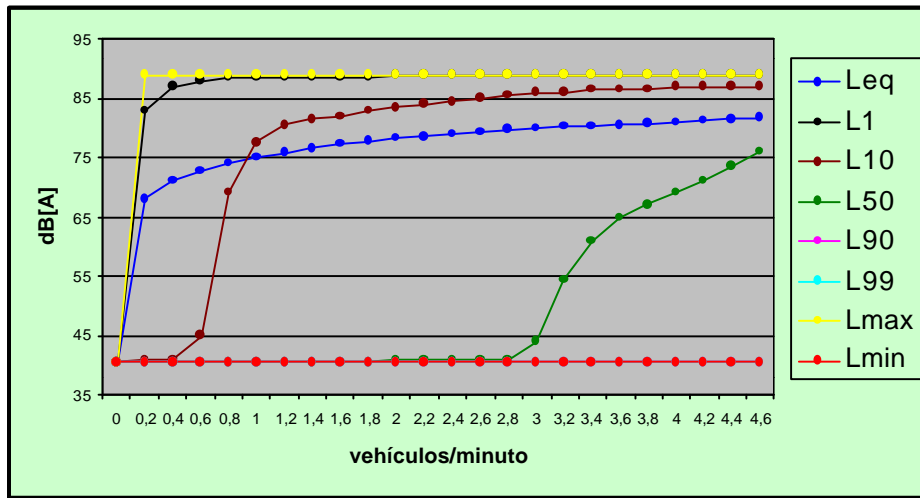


Figura 0. Zona sin solapamiento de eventos.

Esta situación correspondería a una calle de poco tránsito, con una pequeña cantidad de vehículos por minuto. No se puede establecer una curva de regresión lineal entre variables (Fig.6). De hecho la curva de L_{10} corta a la de L_{eq} . Obsérvese que, según el caso, para valores de L_{eq} similares pueden corresponder valores de L_{10} mayores o menores al primero.

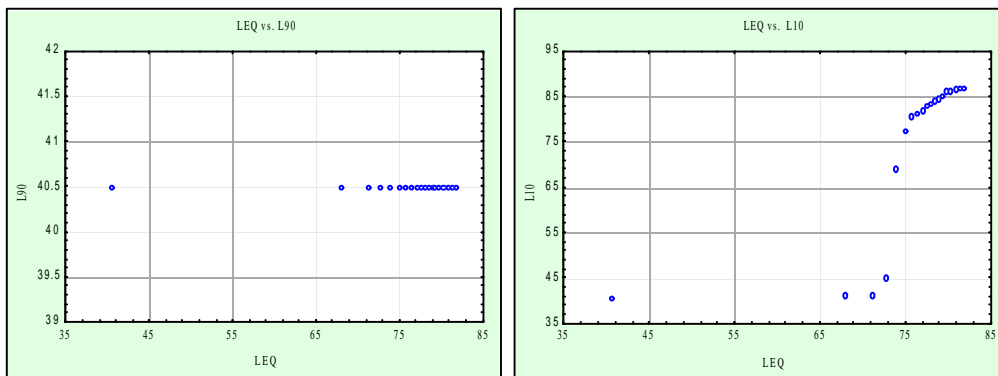


Figura 6. Correlación entre parámetros en la zona sin solapamiento de eventos.

En esta zona, no se pueden deducir ni siquiera aproximadamente los otros parámetros a partir del L_{eq} . No hay información redundante, y probablemente el L_{eq} no sea el parámetro que mejor describa la situación.

Segunda Zona (Zona Con Solapamiento De Eventos):

La segunda de las zonas mencionadas (fig.7), a partir de la superposición de los registros, presenta por el contrario alta correlación entre todos los parámetros medidos, tal como se aprecia en la figura 8. Es más, se podrían deducir los valores de del resto de ellos a partir del L_{eq} y de una estimación de las diferencias absolutas entre las curvas correspondientes.

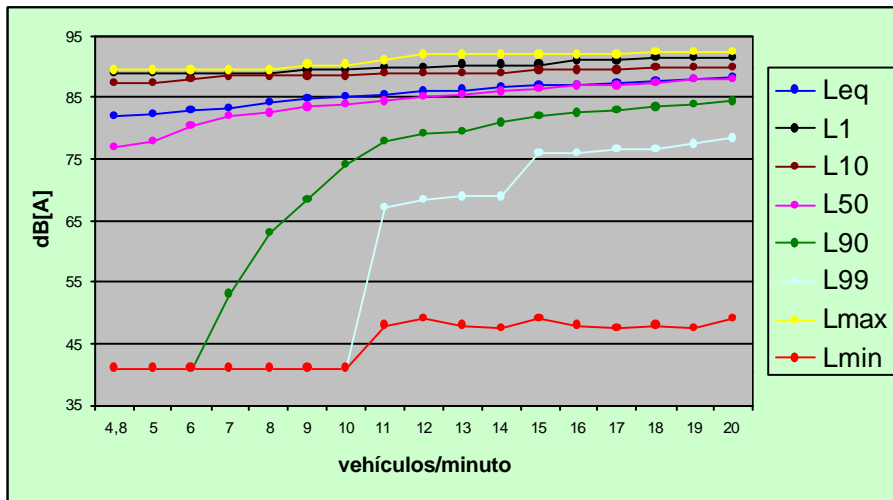


Figura 7. Zona con solapamiento de eventos.

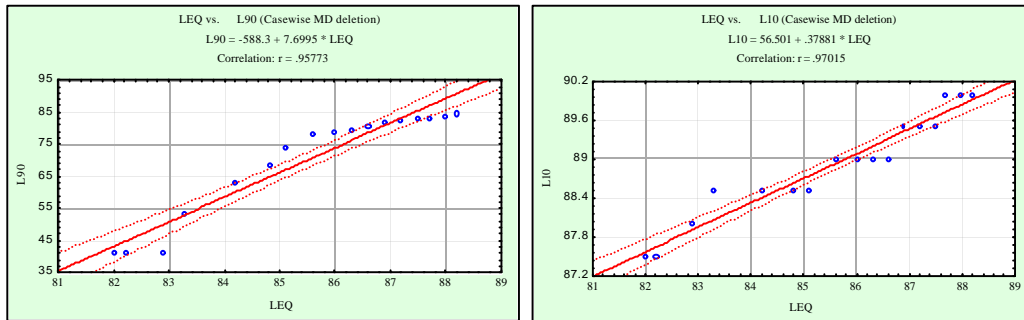


Figura 8. Correlación entre parámetros en la zona con solapamiento de eventos.

CONCLUSIONES

La conclusión principal de esta experiencia es que existen al menos dos escenarios acústicos posibles en función de la densidad de tránsito. En uno de ellos, identificado con las condiciones de saturación características de las grandes avenidas con gran cantidad de vehículos por minuto, el L_{eq} parece en principio apropiado. Pero en el otro escenario, de baja densidad de tránsito e identificado con entornos apacibles, el L_{eq} se muestra claramente inadecuado para caracterizar acústicamente la situación. Es necesario encontrar un mejor descriptor del ruido para estos casos.

Nuestra experiencia estuvo limitada por las características temporales y espectrales del registro base. Es necesario completarla con el empleo de otras señales diferentes. Además, se deberá analizar detalladamente la influencia de las superposiciones entre los registros base.

La tarea proseguirá con la ampliación del alcance de las mediciones a fin de determinar los parámetros –o combinación de parámetros- más adecuados para caracterizar cada una de las situaciones delineadas en el presente trabajo. Recién a partir de estos últimos se podrá encarar la difícil operación de encontrar vínculos con las molestias subjetivas ocasionadas por el ruido de tránsito.

REFERENCIAS

- 1) Cermak, Gregory (1979). "Exploratory laboratory of the relative aversiveness of traffic sounds," *Journal of the Acoustical Society of America*, 65(1), 112-123.
- 2) Gjestland, T. y Oftedal, G. (1980). "Assessment of noise annoyance: the introduction of a threshold level in L_{eq} calculations," *Journal of Sound and Vibration*, 69(4), 603-610.
- 3) Norma ISO 1996/1: Acoustics – Description and measurement of environmental noise – Part 1: Basic quantities and procedures.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Berglund, B., & Lindvall, T. (Eds.). "Community noise". Archives of the Center for Sensory Research, 1995, 2(1), 1-195.
- 2) Dep. of Environment (Inglaterra) (1994). *Planning and Noise*.
- 3) Fields, James (1993). "Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas," *Journal of the Acoustical Society of America*, 93, 2753-2763.
- 4) García, A. y Faus, L. J. (1991). "Statistical analysis of Noise Levels in Urban Areas," *Applied Acoustics* 34, 227-247.
- 5) Gibbs, Barry (1995). *Noise control in the built environment*. (ANTAC, Gramado).
- 6) Griefahn, Barbara (1991). "Environmental Noise and Sleep. Review-Need for Further Research," *Applied Acoustics* 32, 255-268.
- 7) Griefahn, Barbara *et al.* (1993). "The equivalent Sound Pressure Level—a reliable predictor for human responses to Impulse Noise?," *Applied Acoustics* 38, 1-13.
- 8) Makarewicz, Rufin (1992). "Traffic Noise Attenuation in an Urban Area in Terms of A-Weighted Sound Exposure Level," *Applied Acoustics* 37, 65-74.
- 9) Norma ISO 1996/2: Acoustics – Description and measurement of environmental noise – Part 2: Acquisition of data pertinent to land use.
- 10) Pearsons, Karl *et al.* (1995). "Predicting noise-induced sleep disturbance," *Journal of the Acoustical Society of America*, 97, 331-338.
- 11) Ramalingeswara Rao, P. (1992). "Community Reaction to Road Traffic Noise," *Applied Acoustics* 37, 51-64.
- 12) Schultz, T. J. (1972). *Community Noise Ratings* (Applied Science, Londres).