

FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Influencia del paso de vehículos de transporte público eléctrico sobre el ruido ambiental en vías residenciales

Acosta, Óscar.¹; Montenegro, Carlos.²; Crespo, Rubén.³

¹ Doctorado en Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, DC, Colombia, oacostaa@correo.udistrital.edu.co
Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura Bogotá, Bogotá, DC, Colombia, oacosta@usbbog.edu.co

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, DC, Colombia, cemontenegro@udistrital.edu.co

³ Escuela de Ingeniería y Tecnología, Universidad Internacional de La Rioja, Logroño, España, ruben.gonzalez@unir.net

Resumen

En los últimos años el uso de vehículos eléctricos en las ciudades ha tomado fuerza al ser una alternativa de movilidad catalogada en algunos medios como cero emisiones (VCE). Diferentes gobiernos y comunidades de países a nivel mundial han venido impulsando el uso de estos vehículos destacando sus ventajas entre las cuales se encuentra bajos niveles de emisión de ruido, lo cual contribuye a bajar los índices de polución sonora. En la ciudad de Bogotá-Colombia, la alcaldía distrital ha iniciado un plan de actualización del sistema de transporte público de pasajeros con buses eléctricos. Con base en lo anterior, el presente documento realiza un estudio con el objetivo de comparar in-situ la emisión de ruido por parte de los nuevos buses eléctricos con buses tradicionales de combustión interna en vías de una zona residencial de Bogotá. Los resultados indican que para pasos individuales de buses con la misma rapidez la reducción de emisión es cercana a 5dBA.

Palabras claves: Ruido ambiental, ruido comunitario, tráfico rodado, eléctrico, transporte, público.

PACS: 43.20.Ye, 43.50.Rq, 43.50.Sr, 43.50.Lj.

Abstract

In recent years, the use of electric vehicles in cities has gained strength as it is a mobility alternative cataloged in some media as zero emissions vehicle (VCE in Spanish). Different governments and communities of countries worldwide have been promoting the use of these vehicles, highlighting their advantages, among which are low noise emission levels, which contributes to lower noise pollution rates. In the city of Bogotá-Colombia, the district mayor's office has initiated a plan to update the public passenger transport system with electric buses. Based on the above, this document carries out a study with the objective of comparing in-situ the noise emission by the new electric buses with traditional internal combustion buses on roads in a residential area of Bogotá. The results indicate that for individual bus passes with the same speed, the emission reduction is close to 5 dBA.

Keywords: Environmental noise, community noise, road traffic, electrical, transportation, public.



1. INTRODUCCIÓN

El ruido puede ser considerado como un sonido no deseado o aquel que se encuentra fuera de lugar. Desde el punto de vista de la acústica ambiental, en un ambiente urbano existen diferentes fuentes de ruido, entre ellas, los medios de transporte, industrias y actividades culturales [1]. Investigaciones realizadas en los últimos años han abordado el ruido de manera profunda determinando, entre otras conclusiones, cómo estar expuesto a elevados niveles de ruido genera una serie de efectos negativos en las personas tanto fisiológicos [2] como psicológicos [3]. De hecho, la OMS (Organización Mundial de la Salud) presenta, además de efectos en la salud por causa del ruido, valores máximos permisibles en diferentes espacios como escuelas, dormitorios, hospitales, entre otros [4].

Estudios han mostrado como en algunas ciudades de las fuente de ruido existentes el tráfico rodado es la fuente predominante predominante afectando la tranquilidad y bienestar de sus habitantes [5]. Por ello, las características de los automotores de cada ciudad tendrán una incidencia directa en el ruido emitido por esta fuente de ruido. En el caso de la capital colombiana, Bogotá, desde el 2007 hasta el 2017 se duplicó el parque automotor de la ciudad pasando de cerca de un millón de vehículos a 2.3 millones [6]. Así mismo, la edad promedio de vehículos livianos particulares se encuentra al rededor de 14 años (excluyendo motocicletas), mientras los buses y camiones tienen en promedio 15.0 y 27.9 años respectivamente [6]. Lo anterior, trae impactos a nivel de contaminación del aire entre ellos el ruido.

Las últimas administraciones de la ciudad han realizado inversiones en la actualización del sistema de transporte público de Bogotá tomando varias medidas, entre ellas, la migración de motores térmicos a eléctricos. Según datos de la alcaldía mayor en la actualidad se cuenta con cerca de 1000 buses eléctricos y al finalizar 2022 la cifra pasará a 1485 [7].

Con respecto al ruido causado por vehículos eléctricos se suele estimar que su emisión arriba de 50 km/h es similar a la de vehículos de combustión debido a que predomina la interacción

neumático pavimento [8], por lo tanto, las diferencias serán notables en velocidades bajas escenario típico de entornos urbanos principalmente en latinoamérica.

2. METODOLOGÍA

Las mediciones de ruido ambiental fueron realizadas siguiendo como base lineamientos del estándar ISO 1996-2. Sobre el equipamiento, fue utilizado un micrófono de medición USB (UMIK-1) de patrón omnidireccional con archivo para la corrección de respuesta en frecuencia el cual fue aplicado a las mediciones. Asimismo, el micrófono fue calibrado a 114 dB SPL y ubicado a 4 metros sobre el nivel de suelo. El audio proveniente del micrófono fue almacenado en formato sin pérdida WAV para luego realizar el post-procesamiento y obtener los indicadores de ruido temporales tales como LEQ y percentiles.

De igual manera, se dispuso de una cámara de acción ubicada aproximadamente 20 cm abajo del micrófono con el objetivo de obtener información visual. Las grabaciones de video permitieron seleccionar las escenas en donde únicamente se tenía el paso de buses para asociarlo con las grabaciones de audio y calcular el ruido emitido. Además, mediante el video se pudo estimar la rapidez de los vehículos con una distancia de recorrido conocida entre dos puntos y suponiendo una velocidad constate.

El punto de medición fue ubicado en una zona residencial y de comercio moderado ubicado en una calle de la ciudad de Bogotá-Colombia donde la velocidad de los vehículos está limitada a 30 km/h por disposición de la secretaría de movilidad. El pavimento utilizado es hormigón asfáltico con algunas marcas de desgaste. Al frente del punto de medición existe un edificio con altura de 7.5 metros aproximadamente, entre tanto, en la parte posterior se encuentra un parque. El ancho de la vía para la circulación de doble carril es de 7 metros. En la Figura 1 se puede apreciar el punto de medición, así como hacia a dónde apunta la vídeo cámara (icono amarillo), además de las condiciones del entorno. En el lugar de medición el tráfico vehicular se desplaza de derecha a izquierda de la imagen.

De igual manera en la Figura 2 se puede observar



Figura 1: Entorno de medición y dirección de la videocámara

la ubicación del micrófono y videocámara en el punto de medición con la altura y equipamiento mencionado anteriormente. La vista hacia la vía, capturada por la vídeo cámara se muestra en la Figura 3.



Figura 2: Instrumental de medición



Figura 3: Vista desde la vídeo cámara de la vía para el registro de información

Tradicionalmente en este sector han circulado buses de combustión interna (CI), sin embargo, las nuevas políticas que ha venido presentado la ciudad de Bogotá en los últimos años impulsando el cambio hacia la movilidad eléctrica en el

transporte público ha permitido que buses eléctricos transiten por esta zona. En la Figuras 4, 5, 6 se encuentran los dos tipos de buses que fueron considerados (eléctricos y CI). Vale la pena destacar que dos tipos de buses CI circulan por la zona de estudio encontrándose la principal diferencia en la capacidad de pasajeros que pueden transportar, no obstante, el motor funciona con el mismo tipo de combustible Diésel.



Figura 4: Bus eléctrico



Figura 5: Bus de combustión interna tipo 1



Figura 6: Bus de combustión interna tipo 2

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez fueron registrados los datos se procedió con su respectivo análisis en donde se contrastó nivel de emisión de ruido con el tipo de motor y rapidez. Esta última variable registró valores



entre 23.9 km/h y 40.7 km/h para los buses eléctricos, en el caso opuesto (CI) la rapidez osciló entre 25.3 km/h y 50.7 km/h. Vale la pena subrayar que algunas muestras superan la rapidez máxima permitida para esta vía la cual no cuenta con controles ni reductores de velocidad en ese punto.

Inicialmente, todos los indicadores de ruido mostraron valores menores en todas las muestras, como era de esperarse, durante el paso de buses eléctricos en comparación con los buses CI. Sin embargo, este escenario es más notable cuando se aplica la ponderación en frecuencia A, tal como se muestra en la Figura 7, 8 donde son representados los indicadores Leq y LeqA con respecto a la rapidez de paso.

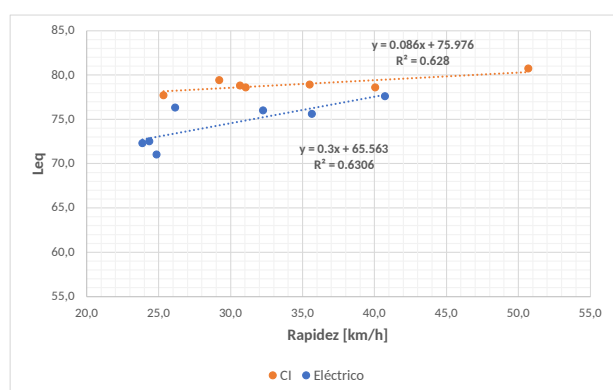


Figura 7: Leq paso de buses ICE y eléctricos

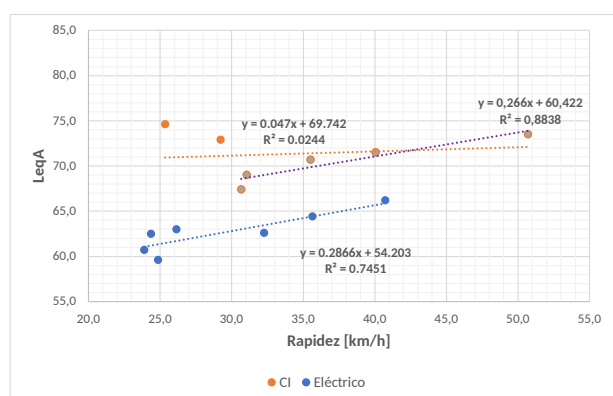


Figura 8: LeqA paso de buses ICE y eléctricos

Al observar los datos para el caso de las mediciones sin ponderación (Fig.7) se presenta una tendencia creciente del nivel de ruido conforme aumenta la velocidad siguiendo lo observado por otros autores ([9], [10]). Este incremento aplica tanto para buses eléctricos como CI con un coeficiente de determinación R^2 de 0.63 aproximando

con dos cifras decimales.

Por otro lado, cuando se evalúa el LeqA (Fig.8) en los buses eléctricos se mantiene el comportamiento anteriormente mencionado aumentando el R^2 a 0.75. Sin embargo, para buses CI no hay una relación clara entre velocidad y LeqA ($R^2 = 0,02$) lo cual es causado por los dos primeros datos. Estos pertenecen a buses de menor rapidez (círculos naranjas) los cuales generaron niveles de ruido por arriba de 6 dB en frecuencias medias en comparación con las otras muestras, este aspecto se detallará más adelante con las figuras de espectro. Como complemento, al eliminar estos dos primeros datos se obtiene un coeficiente $R^2 = 0,88$ en buses CI (línea violeta) (Figura 8).

El comportamiento descrito anteriormente puede ser explicado desde diferentes aristas. En primera medida, los buses eléctricos que circulan por el punto de estudio en su mayoría son recientes (menos de un año), de la misma marca y referencia lo cual permite deducir un funcionamiento similar y por tanto una emisión de ruido más homogénea. En segunda medida, los buses CI tienen mayor tiempo de circulación (algunos 10 años o más) esto sumado a diferentes marcas de chasis y motor, de hecho, aquellos cuya velocidad fue de 25 km/h y 28 km/h se destacan por su alta emisión de ruido causada por el motor Diesel. Este tipo de situaciones es propio de países en vía de desarrollo y que deben ser considerados en el momento de aplicar o proponer modelos de predicción de ruido por tráfico rodado.

Estudios anteriores estimaron una disminución de 2 dB en la emisión de ruido si solo pasaran vehículos eléctricos livianos con velocidades de 30 km/h y sin sonidos de alerta a los peatones [8]. En el presente estudio las diferencias son mayores con disminuciones de hasta 5dBA, esto soportado en el hecho que los vehículos estudiados son pesados (peso mayor a 3500 kg).

Con el objetivo de hacer comparables los espectros de ruido emitidos por ambos tipos de buses se consideraron únicamente velocidades similares (Figura 9, 10). Las barras en color naranja y azul representan el Leq de buses CI y buses eléctricos respectivamente.

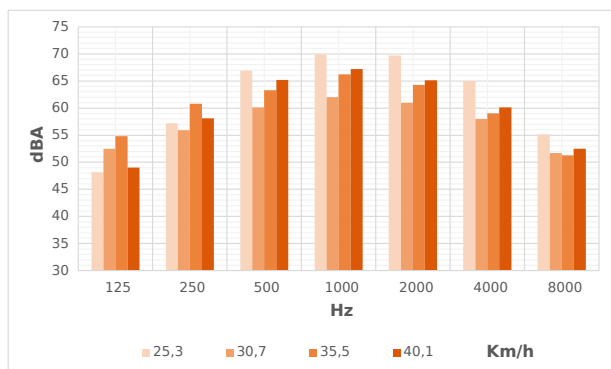


Figura 9: Niveles por banda de octava buses CI. (Verde dBA).

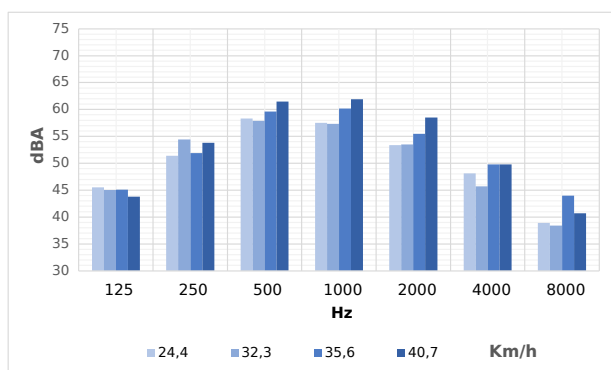


Figura 10: Niveles por banda de octava buses eléctricos. (Verde dBA).

Con respecto a los espectros se puede destacar que para muy bajas frecuencias (banda central de 125Hz) la emisión de buses eléctricos es muy similar sin una clara relación con la velocidad de circulación, comportamiento que difiere de buses CI.

Asimismo, la barra de mayor amplitud a baja velocidad (25.3 Kh/h) en frecuencias superiores a 500Hz remarca la emisión del motor Diesel perteneciente a los buses CI como los mostrados en la Figura 6. Sobre este aspecto se puede abrir un capítulo especial para considerar molestia en ruido comunitario, debido a que la emisión de este tipo de buses al centrar su energía en regiones más sensibles del oído humano causa mayor molestia por ruido en la población fija y flotante de esta zona de estudio.

4. TRABAJO FUTURO

Actualmente se está trabajando en la obtención de más datos los cuales permitan contrastar y fortalecer los resultados obtenidos. Esta información permitirá a los investigadores realizar

ajustes a un modelo para la predicción de ruido por tráfico rodado en Bogotá-Colombia, en donde ya ha iniciado una transición hacia la movilidad basada en transporte público que utilice energías limpias.

5. CONCLUSIÓN

Se realizaron mediciones de ruido ambiental para evaluar las diferencias de emisión de ruido in-situ de buses con motor de combustión interna y eléctrico basado en eventos individuales. Los datos fueron obtenidos a partir de audio calibrados con los cuales se obtuvieron los descriptores energéticos Leq y $LeqA$ para ambos tipos de buses. El apoyo con una vídeo cámara permitió seleccionar los eventos. El análisis de resultados permitió determinar reducciones de aproximadamente 5 dBA en la emisión de ruido por paso de eventos para el caso de buses eléctricos en velocidades de circulación similares cuando se comparó con buses CI. Aún se requiere aumentar el tamaño de la muestra para validar las líneas de tendencia obtenidas.

REFERENCIAS

- [1] Murphy, Enda e King, Eoin A. *Environmental noise pollution: Noise mapping, public health, and policy*. Elsevier, 2022.
- [2] Recio, Alberto; Linares, Cristina; Banegas, José Ramón e Díaz, Julio. Road traffic noise effects on cardiovascular, respiratory, and metabolic health: An integrative model of biological mechanisms. *Environmental research*, 146:359–370, 2016.
- [3] Park, Sang Hee; Lee, Pyoung Jik e Jeong, Jeong Ho. Effects of noise sensitivity on psychophysiological responses to building noise. *Building and Environment*, 136:302–311, 2018.
- [4] Berglund, Birgitta; Lindvall, Thomas; Schwela, Dietrich H; Organization, World Health et al. *Guidelines for community noise*. 1999.
- [5] Aguilera, Inmaculada; Foraster, Maria; Basagaña, Xavier; Corradi, Elisabetta; Deltell, Alexandre; Morrelli, Xavier; Phuleria, Harish C; Ragettli, Martina S; Rivera, Marcela; Thomasson, Alexandre et al. Application of land use regression modelling to assess the spatial distribution of road traffic noise in three european cities. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 25(1):97–105, 2015.
- [6] movilidad, Secretaria. Observatorio de movilidad, 2017. Disponible em: <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/091b08e1-6657-42e3-a3eb-68964304f480/resource/166dd7e4-527b-417d->



83ab-a96a1efcf5a7/download/observatorio_de_m
ovilidad_2017.pdf.

- [7] *ambiente, Secretaria. Con 1.485 buses 100% eléctricos, bogotá es la ciudad con mayor flota eléctrica fuera de china, 2022. Disponible en: https://ambientebogota.gov.co/historial-de-noticias/-/asset_publisher/VqEYxdh9mhVF/content/con-1-485-buses-100-electricos-bogota-es-la-ciudad-con-mayor-flota-electrica-fuera-de-china.*
- [8] *Campello-Vicente, Hector; Peral-Orts, Ramon; Campillo-Davo, Nuria e Velasco-Sanchez, Emilio. The effect of electric vehicles on urban noise maps. Applied Acoustics, 116:59–64, 1 2017. ISSN 1872910X. doi:10.1016/j.apacoust.2016.09.018.*
- [9] *Buna, B. Some characteristics of noise from single vehicles. Transportation noise reference book, Butterworths, 1987.*
- [10] *Sandberg, Ulf. Noise emissions of road vehicles effect of regulations: Final report 01-1. Noise News International, 9(3):147–203, 2001.*