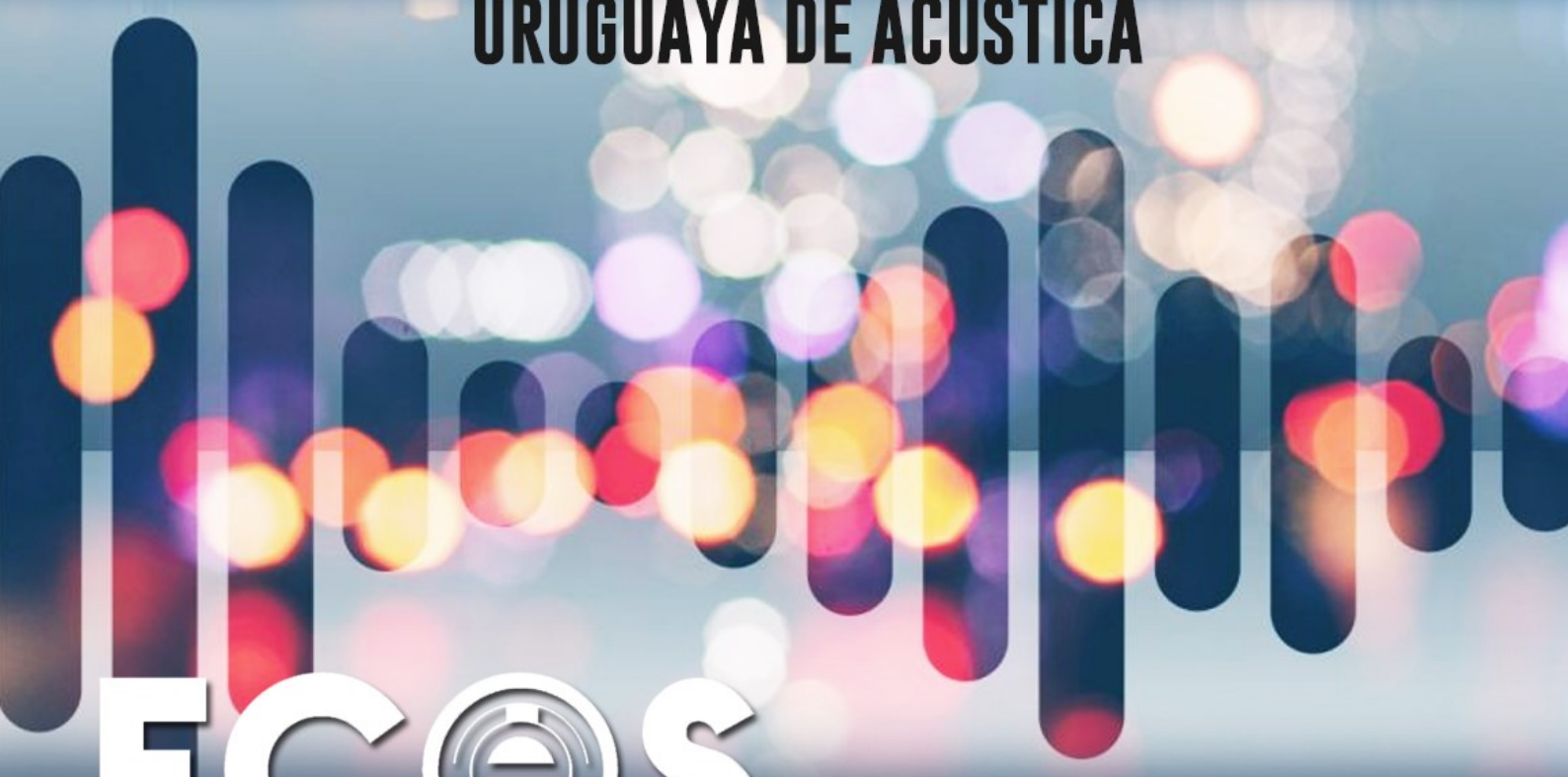


PUBLICACIÓN SEMESTRAL

**FACULTAD
DE INGENIERÍA
UDELAR**

**EN COLABORACIÓN CON
LA ASOCIACIÓN
URUGUAYA DE ACÚSTICA**



ECOS

ISSN 2697-2913

**AÑO 6, VOL. 6, Nº 2
JULIO - DICIEMBRE 2025**



REVISTA DE LA ASOCIACIÓN URUGUAYA DE ACÚSTICA
ISSN 2697-2913

**PUBLICACIÓN SEMESTRAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA – UdelaR, en
colaboración con la ASOCIACIÓN URUGUAYA DE ACÚSTICA**

<u>Consejo Editor</u>	<u>Tabla de contenidos</u>
Alice Elizabeth González (UdelaR, Uruguay) Editora Responsable Ana Abreu (UdelaR, Uruguay) Julieta António (Universidade de Coimbra, Portugal) Gustavo Basso (UNLP, Argentina) Héctor Campello Vicente (UMH, Elche, España) Fernando Elizondo-Garza (FIME - Universidad Autónoma de Nuevo León, México) Juan Cruz Giménez de Paz (Argentina) Ricardo Hernández Molina (Universidad de Cádiz, España) Federico S. Miyara (UNR, Argentina) Ismael Núñez Pereira (UdelaR, Uruguay) Dinara Xavier da Paixão (UFSM, Brasil) Jorge Patricio Fradique (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal) Diego Pablo Ruiz Padillo (Universidad de Granada, España) Nilda Vecchiatti (UBA, Argentina) Secretaría General: Carolina Ramírez (UdelaR, Uruguay)	<i>Artículos académicos</i> Transmisión en vivo de los partidos de Fútbol del Mundial de 1930 ¿Por radio, por teléfono o por telégrafo? <i>Walter Alfredo Montano Rodríguez</i> ----- 2 <i>Conferencias presentadas en la 4ª Semana del Sonido (Uruguay)</i> La música del viento. <i>Ismael Núñez</i> ----- 10 Environmental acoustics: Comparison of noise exposure measurements recorded in dosimeters and sound level meters. <i>Luis María Marisquirena Sebrango, Alice Elizabeth González, Héctor Campello Vicente</i> ----- 16 Vibraciones generadas por tráfico: trabajo experimental en Montevideo, Uruguay. <i>Julian David Ortiz Umaña, Alice Elizabeth González</i> ----- 26 El entorno sonoro y su impacto en el neurodesarrollo del recién nacido internado. <i>Silvia Palermo</i> ----- 34

Transmisión en vivo de los partidos de Fútbol del Mundial de 1930 ¿Por radio, por teléfono o por telégrafo?

Live transmission of the 1930 World Soccer Cup matches. By broadcast, telephone, or telegraph?

Transmissão ao vivo das partidas de Futebol da Copa do Mundo de 1930
¿Por rádio, telefone ou telégrafo?

Walter Alfredo Montano Rodríguez, ORCID: 0000-0002-0059-5257 – Scopus Author ID: 57205127863

ARQUICUST, Depto. Técnico. Gualeguaychú, Argentina.

Correo de contacto: wmontano@arquicust.com

Resumen

En julio de 1930 en Montevideo tuvo lugar la Primera Copa Mundial de Fútbol (Foot-ball) organizada por la FIFA, que si bien hay menciones aisladas de que los partidos fueron transmitidos en vivo radialmente a todo el mundo, hasta la fecha no hay investigaciones profundas que confirmen esa situación. De lo publicado en la prensa, se evidencia que personas recibían telégrafos que se enviaban desde el estadio con lo que sucedía durante los partidos, los transcribían a texto y un locutor los transmitía por radio o por sistemas electroacústicos instalados a frente de los edificios de los diarios, mientras el público se agrupaba alrededor de los altoparlantes para escucharlos, por lo que en ambos casos no eran relatados en directo. Un diario de Buenos Aires transmitió en directo por teléfono algunos partidos desde Montevideo, con un locutor que dentro del estadio relataba lo que iba sucediendo en la cancha, reproduciendo su voz por altoparlantes en Buenos Aires. En este artículo se compartirán curiosidades que involucran a la electroacústica, publicadas por ese diario argentino que cubrió en vivo y en directo los pormenores ocurridos en los partidos de semifinales y el de la final de la Primera Copa FIFA.

Palabras clave: Acústica, Telefonía, Electroacústica, Radiofonía, Historia de la ciencia.

Abstract

The first FIFA World Cup was held in Montevideo in July 1930. Although there are scattered references to live radio broadcasts of matches around the world, no in-depth research has been conducted to confirm this. Press reports indicate that people received telegrams from the stadium with details about the matches. They transcribed the telegrams into text, which announcers then transmitted by radio or through electroacoustic systems installed in front of newspaper buildings. The public gathered around the loudspeakers to listen. Therefore, in both cases, the reports were not live. A Buenos Aires newspaper broadcast some matches live via telephone from Montevideo, a speaker inside the stadium described what was happening on the field, and his voice was reproduced over loudspeakers in Buenos Aires. This article will share interesting facts about electroacoustics published by the Argentine newspaper that covered the semifinals and finals live of the First FIFA World Cup.

Keywords: Acoustics, Telephony, Electroacoustics, Broadcasting, History of science.

Resumo

Em julho de 1930, a primeira Copa do Mundo da FIFA aconteceu em Montevideu. Embora haja menções isoladas de que as partidas foram transmitidas ao vivo pelo rádio para todo o mundo, até o momento não há pesquisas aprofundadas que confirmem isso. Reportagens da imprensa mostram que as pessoas receberam telegramas enviados do estádio detalhando os eventos da partida, os transcreveram para texto, e um locutor os transmitiu por rádio ou por meio de sistemas eletroacústicos instalados em frente aos prédios dos jornais, enquanto o público se reunia ao redor dos alto-falantes para ouvir. Portanto, em ambos os casos, as reportagens não foram ao vivo. Um jornal de Buenos Aires transmitiu algumas partidas ao vivo por telefone de Montevideu, com um locutor dentro do estádio descrevendo o que estava acontecendo no campo, sua voz reproduzida por alto-falantes em Buenos Aires. Este artigo compartilhará fatos interessantes sobre eletroacústica, publicados pelo jornal argentino que cobriu os detalhes das semifinais e da final ao vivo a Primeira Copa do Mundo da FIFA.

Palavras chave: Acústica, Telefonía, Eletroacústica, Radiofonia, História da ciência.

1. INTRODUCCIÓN

A pocos años de que se conmemore el primer centenario del Mundial de Fútbol de 1930, que se realizó en

Montevideo entre el 13 al 30 de julio de ese año, hasta el día de hoy no se encuentran publicadas investigaciones completas de cómo se transmitieron los 18 partidos jugados, sí hay menciones de que fueron

transmitidos por la radioemisora oficial de Uruguay, pero se debe considerar que transmitieron por la frecuencia de amplitud modulada (AM) de 650 kHz, que tiene pocos cientos de kilómetros de alcance, teniendo en cuenta además que en 1930 los amplificadores de radiofrecuencia no eran muy potentes.

Se encuentran algunos artículos periodísticos que dan por supuesto que se escucharon radiofónicamente los partidos en todo el mundo, pero para haber logrado ello tendrían que haber transmitido por radiofrecuencias de onda corta, y no se encuentran evidencias de que eso hubiera ocurrido.

De lo que se lee en los diarios de Argentina, Perú y Uruguay, los partidos se transmitían mediante cables telegráficos desde el Estadio Centenario en Montevideo, y en las ciudades que los recibían un locutor los leía frente a un micrófono, para reproducir su voz mediante sistemas electroacústicos con altoparlantes que se instalaban frente a los edificios de los diarios, y así la gente podía escuchar los partidos ‘en directo’, y tal vez los transmitían por radio emisoras locales, pero de esto último se han encontrado menciones que sólo se hizo en Buenos Aires.

En este artículo se comentarán principalmente las columnas periodísticas del diario *Crítica* de la ciudad de Buenos Aires, porque fue el único que transmitió en directo los tres últimos partidos disputados en el Estadio Centenario, ya que en vez de leer telegramas, transmitieron los partidos telefónicamente desde el mismo campo de juego, por medio de micrófonos telefónicos instalados en la estadio, reproduciendo el audio recibido por altoparlantes instalados sobre la vereda de su edificio, en la Av. De Mayo.

Nota. Las fuentes de información que aquí se utilizan son las que están a libre disposición en Internet, de aquellas que los *search engines* del Google® y del Bing® permiten su acceso, y del repositorio digital del sitio Anáforas, cuya colección de diarios y revistas no es completa.

2. PRIMERA TRANSMISIÓN RADIAL ‘EN DIRECTO’ DE UN PARTIDO DE FÚTBOL EN 1922 EN URUGUAY

En un artículo publicado por el autor en esta revista, en diciembre de 2020, se comentó que la primera transmisión ‘en directo’ de un partido de fútbol ocurrió en 1922 (Montano & Martínez, 2020, p. 30), específicamente el 1° de octubre de un encuentro entre la selección de Uruguay contra Brasil, en ocasión del Campeonato Sudamericano de Foot-ball disputado en Río de Janeiro. En realidad se recibían los cables telegráficos desde Brasil en el diario montevideano *El Plata* (colindante al Teatro Solís), que eran transcritos

en dos copias, mientras una era leída por un locutor que iba relatando el partido «por un megáfono» para que lo escuchasen los hinchas, tal como se ve en la imagen izquierda de la Figura 1 a la gente agolpada en la plazuela del Teatro Solís, ocupando también la calle y veredas; la otra fue leída en simultáneo por un segundo locutor para transmitir las radialmente con aparatos experimentales (ver imagen derecha de la Figura 1). En ambos casos probablemente los locutores imaginaban los pormenores de lo que sucedía en la cancha, para complementar los cortos textos telegráficos. Queda evidenciado que los partidos no eran transmitidos en directo, sino con una demora de algunos minutos. En Varela (2022), se encuentra más información.

Una curiosidad de esta transmisión radial para el 2025 fue comentada en el diario *El Plata*: «La información transmitida desde nuestra casa al Hipódromo de Maroñas por medio del aparato radiotelefónico de la General Electric S.A. no pudo darse al público por el megáfono, merced a una nerviosidad repentina de los caballos que se transmitió repentinamente a los señores comisarios. Éstos, velando por el bienestar de los cuadrúpedos, prohibieron que se usara el megáfono» (Galena, 2018).

En las reseñas se indica que los locutores relataron el partido con megáfonos, y viendo las fotografías tomadas a las afueras del Teatro Solís se aprecia que hubo cientos de personas, por lo que resulta difícil de que pudieran escuchar la voz de una persona gritando por un megáfono, posiblemente utilizaron una limitada instalación electroacústica con algunos altoparlantes (con transductor del tipo *driver*) o tal vez uno solo, de bocinas metálicas cuya forma es similar a la de un megáfono, por lo que seguramente de ahí surge esa analogía. De acuerdo con muchas revistas técnicas de la época, mencionan que a mediados de 1923 ingresaron a Uruguay los primeros altoparlantes de cono.

3. PRIMERA TRANSMISIÓN RADIAL EN DIRECTO DE UN PARTIDO DE FÚTBOL EN 1923

Otra emisora también experimental, con su antena instalada en la azotea del Instituto Crandon en la esquina de la Av. 8 de Octubre y Av. Garibaldi de Montevideo, dirigida por Don Emilio Elena (un amante de la radiotelefonía), el domingo 18 de julio de 1923 relató desde el Parque Central (cancha del equipo Nacional ahora renombrada como «Gran Parque Central») distante unos 600 m, subido al techo del palco de socios relató el encuentro disputado entre los equipos Nacional y Sud América.

Según menciona una crónica, la conexión desde el estadio fue «mediante una línea microfónica» (Galena,

2018), siendo esto poco probable, ya que hacia 1923 los preamplificadores de micrófonos no eran capaces ni estaban diseñados para transmitir la señal eléctrica a tanta distancia sin distorsión, por lo que probablemente utilizaron el micrófono de un teléfono, que por medio de cables telefónicos transmitieron la señal hacia los aparatos de radiotransmisión instalados en el Crandon.

4. TRANSMISIÓN DE LOS PARTIDOS DE FÚTBOL DE LOS JUEGOS OLÍMPICOS DE 1924

En los Juegos Olímpicos de 1924, el fútbol (Football) ingresó como deporte, y por primera vez participaron selecciones de países de todo el mundo. En esta sección se comentarán dos hechos que ocurrieron durante las competencias deportivas.

4.1. Transmisión telegráfica de los partidos de fútbol olímpico

Según se comenta en el Blog La Galena del Sur (2020), las noticias por cable desde París eran recibidas en la central telegráfica de Montevideo y desde allí se comunicaban telefónicamente a la redacción del diario *El Día*, y el mismo operador que recibía la llamada transmitía radiofónicamente –y también por altoparlantes colocados en los alrededores– relató los acontecimientos de esa primera final mundial de fútbol disputada en el estadio Colombes.

4.2. Prohibición de la transmisión radiofónica de la final de fútbol olímpico

En el 2020 el periodista e investigador uruguayo Luis Prats del diario *El País*, publicó un hecho deportivo desconocido en Uruguay que tuvo lugar durante los Juegos Olímpicos de París de 1924, que Edmond Dehorter –aficionado a la radiodifusión y entusiasta cronista– no siendo periodista transmitió en directo por radio muchas de sus competencias deportivas (Prats, 2020), situación que despertó la preocupación y el enojo de los periodistas de la prensa escrita, porque sintieron que perdían la exclusividad de la noticia frente a este novel medio de comunicación, y se lo puede ver a Dehorter en varias fotografías sentado frente a un micrófono dentro de los mismos campos deportivos (Frosi, 2024), por lo cual se ganó el mote de *le Parleur Inconnu* (el locutor anónimo).

A raíz de esto, el periodismo presentó una queja a la organización de los Juegos Olímpicos, porque consideraron que la transmisión radial en directo de eventos deportivos representaba una competencia desleal, por lo que a Dehorter le prohibieron el ingreso al estadio de Colombes para la final de fútbol, que disputaría Uruguay contra Suiza el 9 de junio de 1924, para que no lo transmitiera.

De acuerdo con lo citado por Booth (2008, p. 19), Dehorter no abandonó su idea de transmitir la final del fútbol olímpico, y al observar que en una bicicletería próxima al estadio tenían un globo aerostático para publicidad, conversó y convenció al dueño para que le permitiera subir a la cesta del globo con un micrófono.



Figura 1. Claudio Sapelli en una azotea contigua al Teatro Solís junto a su trasmisor portátil durante el partido de fútbol contra Brasil el 1° de octubre de 1922 (Montevideo, 2017). Público frente al Teatro Solís escuchando por megáfono la transmisión ‘en directo’ «aclamando el goal que dio a los uruguayos su victoria sobre los argentinos» el 8 de octubre (Uruguayo, 1922)

Booth indica que Dehorter desde lo alto comentó lo mejor que pudo sobre el partido que se desarrollaba abajo, porque según el mismo Dehorter dijo que «Soplaba un viento tremendo, el globo se balanceaba tanto que no podía ver nada. En una mano tenía el micrófono, en la otra los binoculares. Y en la tercera... el equilibrio. Hablé de rodillas y casi me caigo por encima de la cesta». Otra dificultad seguro se sumó a su relato, porque en 1923 los jugadores de fútbol no utilizaban números identificatorios en la espalda de sus camisetas.

5. PRIMERA TRANSMISIÓN RADIAL EN DIRECTO EN URUGUAY DE UN PARTIDO INTERNACIONAL DE FÚTBOL EN 1924

De regreso a Uruguay, la selección de fútbol estrenó su medalla olímpica con un partido amistoso contra la selección argentina el 2 de octubre de 1924, que tuvo lugar en la cancha de Sportivo Barracas de la ciudad de Buenos Aires. En la edición vespertina del diario *Crónica* de ese mismo día, se comenta que Nazzasi (capitán del equipo uruguayo) y Tesorieri (capitán del equipo argentino), dirigieron «un mensaje por radiotelefonía desde el aparato receptor establecido en el mismo field de Sp. Barracas» (Crítica, 1924, p. 5); en la Figura 5 se reproduce la noticia (publicada en el mismo ejemplar de ese diario) de que el presidente de Uruguay José Serrato escuchó la transmisión en vivo.

Según cita Guñazú (2004), la transmisión la realizó el argentino radioaficionado Horacio Martínez Seeber (que poseía la Licencia N° 1) por teléfono desde el estadio, cuyo llamado era recibido en la estación LOR para ser transmitido radialmente; es interesante mencionar que utilizó tres micrófonos (de aparatos telefónicos) colocados al borde del campo de juego: uno para él, otro para Atilio Casime (jefe de la sección deportes del diario *Crítica*), y el tercero para registrar el enorme bullicio del partido internacional. Así fue como se concretó la primera transmisión radiofónica en directo de un partido de fútbol, no sólo para Uruguay sino también para Argentina.

6. TRANSMISIÓN DE LOS PARTIDOS DE LA COPA MUNDIAL DE FÚTBOL DE 1930

En 1930 la locución amateur (todavía no existía profesionalmente) en vivo y en directo de partidos de fútbol eran una realidad, y estaba difundida entre la población. Es así que el Servicio Oficial de Difusión Radioeléctrica (SODRE) de Uruguay, anunció la transmisión

de los partidos de fútbol a través de la estación CX6 en la frecuencia de 560 kHz.



Figura 2. Columna periodística comentando que el presidente uruguayo escuchó en directo la transmisión del partido disputado en Buenos Aires.

En la Figura 3 se puede ver el afiche que publicita las transmisiones, y el rectángulo del campo de juego tiene dibujada una grilla que se llamaba «sistema de orientación gráfico», donde cada cuadrado de la grilla estaba numerado; este sistema inventado en Inglaterra servía para que el locutor dijese en qué números estaban colocados los jugadores (de uno y otro bando) y el radioescucha imaginaba fácilmente el desarrollo del partido (Galena, 2018); este sistema ya había sido utilizado para transmitir el partido entre Uruguay y Argentina de octubre de 1924.

La mayoría de los partidos fueron relatados por Ignacio Domínguez Riera, y Emilio Elena hizo los comentarios. Hasta el momento no se han encontrado referencias directas a cómo fueron transmitidos desde el Estadio Centenario hacia la estación de CX6, por lo que se puede suponer que lo hicieron por sistema telefónico, tal como ya se venía aplicando esta metodología desde 1924.

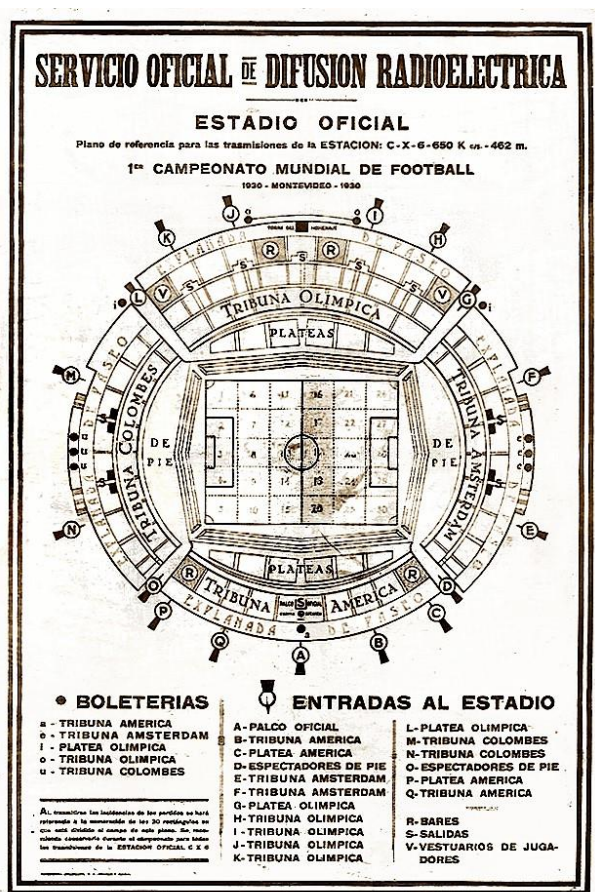


Figura 3. Afiche anunciando la transmisión radial de los partidos de fútbol. Campo de juego con grilla numerada.

Es de suponer que la transmisión radial de CX6 no se recibía en Buenos Aires (debía tener poca potencia),

porque se lee de las noticias periodísticas de los medios de la ciudad de Buenos Aires, que aquellos diarios que habían enviado cronistas a Montevideo tenían frente a sus edificios sistemas de altoparlantes, que reproducían lo que un locutor leía de los cables telegráficos que iban recibiendo desde el Estadio Centenario, y al menos uno transmitió la lectura de esos cables por la emisora radial Splendid.

En una columna publicada por el diario *La Mañana* de Uruguay del 20 de julio de 1930, comenta que los hinchas peruanos se reunieron frente al edificio del diario *El Comercio* de Lima (ver Figura 4), para escuchar por altoparlantes la lectura de los cables telegráficos enviados desde Montevideo, en ocasión del partido disputado el 18 de julio entre la selección de Perú con la uruguaya.

7. EL DIARIO CRÍTICA Y SUS TRANSMISIONES DEPORTIVAS EN DIRECTO A TRAVÉS DE INSTALACIONES ELECTROACÚSTICAS DE PHILIPS

La excepción a la lectura de cables telegráficos desde donde ocurrían los eventos deportivos la marcó el diario *Crítica*, ya que fue el único medio que transmitió en directo por línea telefónica lo que un locutor relataba desde dentro del Estadio Centenario, sólo los partidos de semifinales y el de la final, ya que había adquirido



EN LIMA LA DERROTA FUE FESTEJADA COMO UN TRIUNFO

LIMA, 19. (A. P.). — La capital peruana ha vivido ayer una inolvidable tarde en los anales deportivos. La hora y media que duró el match de football entre Uruguay y Perú, inaugurando el estadio olímpico en celebración del centenario uruguayo, ha sido emocionante y difícil de describir.

Desde antes de las trece horas comenzaron a congregarse enormes masas de público en las calles circundantes a los diarios, la mayor parte reunida frente a "El Comercio", el cual mediante altoparlantes transmitió las incidencias y hasta los más nimios detalles del match, dando la impresión de que uno se hallaba en el field, gracias a los boletines suministrados.

La patriótica atracción que reunió a la muchedumbre se hizo emocionante cuando los telegramas empezaron a detallar la excelente batalla que presentaron los noveles jugadores peruanos, frente a los prestigiosos veteranos olímpicos campeones mundiales, pero se tornó en una explosión inenarrable cuando terminó el primer tiempo sin abrirse el score. Cada acción del arquero Pardon o del forward Lavalle era motivo de ovaciones interminables. El score final era descontado, pero inesperado.

Figura 4. Público frente al diario «El Comercio»® de Lima, escuchando a través de un altoparlante el partido Rumania-Perú el 14 de julio (Comercio, 2018). Columna periodística comentando la reproducción por altoparlantes en Lima, del partido entre la selección peruana y uruguaya.

experiencia técnica transmitiendo eventos boxísticos desde los EE. UU., combinando la conexión telefónica con reproducción del sonido por parlantes de cono (desde el frente de su edificio) lo que iba relatando un periodista desde la ciudad de Nueva York (Crítica, 1930-a, p. 3).

7.1. Transmisión de semifinales de la Copa Mundial de Fútbol

El 16 de julio la empresa Philips instaló 17 parlantes de cono, lo último en tecnología electroacústica, distribuidos a lo largo de 500 m entre la Av. Lima y la plaza del Congreso de la Nación sobre la Av. de Mayo (de la ciudad de Buenos Aires), donde se encontraba la redacción del diario Crónica, para reproducir el evento pugilístico de peso liviano entre Justo Juárez (el Torito de Mataderos) y Joe Glick, telefónicamente desde la ciudad de Nueva York (Crítica, 1930-a, p. 3). Queda evidente que esa instalación electroacústica, fue la misma que utilizaron para reproducir los partidos de semifinales y la final.

En su edición del 25 de julio, comenta que se habían instalado dos líneas telefónicas exclusivas para ese diario, una en la Tribuna Olímpica del Estadio Centenario, para transmitir en vivo y en directo el partido de semifinal entre la selección argentina y la estadounidense al día siguiente. Previo al inicio del partido, hablaron por el micrófono, a través de la otra línea telefónica instalada en los vestuarios, Bosio (el arquero), Cherrito (delantero) y Muttis (Crítica, 1930-b, p. 1).

La otra semifinal ocurrió el 27 de julio, disputada entre la selección yugoeslava con la uruguaya, y en la edición vespertina del diario comentaron que «La voz del cronista de CRITICA que transmite cada partido, es la voz que se siente en los megáfonos de la Avenida», agregando que «desde asientos del estadio, frente al micrófono allí instalado, transmiten la impresión objetiva y el comentario vivaz, auténtico, no disminuido ni agrandado por intermediario alguno» (Crítica, 1930-c, p. 1). Esto último tiene un gran contenido crítico e irónico dirigido a los otros diarios, porque seguramente sus relatores inventaban contextos inexistentes en los partidos, ya que de alguna manera debían de rellenar con comentarios verbales los escuetos escritos cables telegráficos.

7.2. Transmisión de la final de la Copa Mundial de Fútbol

La final del primer mundial de fútbol tuvo lugar el 30 de julio, y el ejemplar de este diario escribe lo que aconteció frente a su redacción, durante la transmisión en vivo del partido ya que antes de iniciarse, jugadores y personajes hablaron desde el vestuario del Estadio Centenario «transmitieron a la hinchada porteña su optimismo y su fe en el triunfo» (Crónica, 1930-d, p.2).

Una anécdota que destacar, es que por los altoparlantes se anunció que Luis ‘el ancho’ Felipe Monti (jugador de San Lorenzo) no estaba en condiciones de disputar el “match”, y que en ese momento arribó una manifestación de estudiantes del Colegio Mariano Moreno, que al escuchar la triste noticia comenzaron a gritar «¡Queremos que juegue Monti!», y dice que hasta le enviaron un telegrama; esta anécdota termina diciendo que «Fue así que, cuando por los poderosos altoparlantes nuestros enviados en Montevideo anunciaron la decisión de Monti de integrar el equipo, una gran ovación, que llegó hasta el delirio, saludó la grata nueva» (Crónica, 1930-d, p.2).

7.3. Instalaciones electroacústicas de Philips utilizadas durante los partidos

El Estadio Centenario fue inaugurado el 18 de julio coincidente con el primer centenario de la Jura de la Constitución de Uruguay, con el partido entre la selección peruana con la uruguaya, para lo cual, la empresa Philips instaló altoparlantes de cono en la torre del estadio un sistema electroacústico (ver Figura 5), por el que se reprodujo música durante ese evento (Crítica, 1930-e, p. 1).



Figura 5. Reproducción de música en el estadio

En otra columna publicada el 21, comenta que «La Radio Philips, por intermedio de unos poderosos altoparlantes, ofreció un buen repertorio de músicaailable a efectos de entretener a los aficionados que aguardaban impacientes la iniciación de la lucha» (Crítica, 1930-f, p. 1).

Respecto al equipamiento electroacústico utilizado por Philips durante los partidos del mundial (ya sea en Montevideo o Buenos Aires) no hay descripciones, pero en la edición del 9 de agosto en ocasión de transmitir un evento pugilístico que se transmitiría telefónicamente desde Nueva York (Crítica, 1930-g, p. 16), se presenta un listado detallado del equipamiento que iban a utilizar (ver Figura 6), por lo que se podría especular que esos son los mismos que fueron utilizados para transmitir los partidos en vivo.

Por suerte para la historia de la electroacústica en Argentina, se menciona que Floreal Borrel fue el técnico de Philips a cargo de la instalación del equipamiento electroacústico del sistema «Philitone» (Crítica, 1930-h, p. 15).

8. CONCLUSIONES

En pleno siglo XXI donde el uso de los teléfonos celulares inteligentes para transmisión en vivo y en directo de eventos deportivos, desde el mismo lugar que están ocurriendo, es difícil imaginar el esfuerzo mental y físico que realizaron los técnicos hace 100 años para transmitir los partidos desde los estadios de fútbol.

La adaptación de la escasa tecnología a la que se tenía en 1922 es una proeza por destacar, ya que Claudio

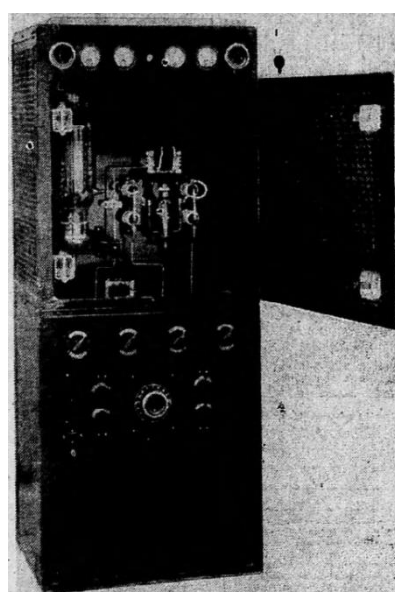
Sapelli utilizó la bobina del driver de un altoparlante, hablando frente a su bocina metálica, como micrófono para su transmisión radial, que fue sintonizada por las pocas radios a galena que existían en Montevideo.

Utilizar las líneas telefónicas, para transmitir la señal eléctrica de los micrófonos de los teléfonos, desde las canchas de fútbol hasta donde se encontraba la estación radiofónica, fue otro recurso inteligente, ya que los aparatos al tener bobinas se adaptaban mejor las impedancias eléctricas del acople electromecánico, reduciéndose así la distorsión del audio.

Respecto al uso de equipamiento electroacústico de Philips, siempre se lee que esta empresa colaboró con el diario, por lo que se podría suponer que se los prestaron para así tener publicidad de su tecnología.

Otra curiosidad compartida en este artículo es la crónica que comenta que en 1922 no se pudo reproducir en el hipódromo de Maroñas la transmisión del partido que se disputó en Brasil, porque el sonido amplificado perturbó a los caballos, por lo que posiblemente esta sea una de las primeras reseñas periodísticas en Uruguay, de cómo los animales pueden tener una conducta nerviosa a consecuencia de someterlos a sonido amplificado.

En este artículo se nombró a las personas (mencionadas en los diarios de aquella época) que estuvieron involucradas en concretar las conexiones e instalaciones electroacústicas que hicieron posible la transmisión de algunos de los partidos disputados durante el Mundial de Fútbol de 1930, pero evidentemente decenas de técnicos participaron y colaboraron en esta tarea y que no fueron nombrados, ya que se tuvo que tirar cables, instalar y conectar altoparlantes, establecer las comunicaciones telefónicas, ajustar las conexiones eléctricas, etc., para concretar las transmisiones.



La amplificación
—¿Quiere decirnos de qué se compone el "Philitone"?
—El equipo está formado por un amplificador previo, cuya misión es la de amplificar las señales recibidas por líneas o por radio, y entregarlas, debidamente amplificadas, al amplificador principal de 600 watts. El primer amplificador (microfonográfico) es del tipo 2780, y posee tres etapas de amplificación de baja frecuencia acopladas por transformadores, constituidas por tres válvulas amplificadoras E 414, A 415 y B 405, respectivamente. Las señales que llegan hasta la cabina telefónica de CRITICA, forzosamente débiles, aunque audibles en los teléfonos, no se encuentran en condiciones tales de poder ser debidamente amplificadas por el amplificador de 600 watts. Por este motivo, como les he dicho, las señales pasan primero por el amplifica-

dor previo, que las transforma en fuertes ondulaciones capaces de hacer trabajar normalmente al gran amplificador. Este es de baja frecuencia y está munido de una válvula amplificadora de poder, con una sola etapa de amplificación de entrada.

El amplificador de 600 Watts Philips tipo 2770 es todo alimentado por la red de canalización. La tensión anódica (4000 voltios) igual que la tensión negativa de grilla y la tensión de filamento son proveídas por un equipo rectificador. La válvula rectificadora es a dos alternancias, tipo 1062, cuya tensión de placa es de 2x4000 voltios. Para obviar todo peligro, el armazón dispone de un corta-circuito que entra en acción en cuanto se abre la puerta. La válvula amplificadora es una Philips Tipo MA 4/600.

Las señales, amplificadas, son reproducidas por altoparlantes de gran poder Philips Big-Pot.

Fig. 6. Equipamiento electroacústico de Philips utilizado frente a la redacción del diario Crítica

El autor es miembro de la Asociación Uruguaya de Acústica (AUA), y de la *Acoustical Society of America* (ASA) e integra su *Comisión de Archivos e Historia*; también es miembro de la Asociación de Acústicos Argentinos (AdAA), de la Sociedad Española de Acústica (SEA), y del Instituto de Acústica y Vibroacústica de Perú (INPAVAC).

AGRADECIMIENTOS.

El autor quiere agradecer a editores y revisores de la revista ECOS por la publicación de este artículo.

RESPONSABILIDAD.

El autor declara que este artículo no tuvo fuentes de financiamiento externo, y fue escrito en sus tiempo libre; se declara también, que no hay conflictos de intereses y siempre se mencionan las fuentes de datos. La fotografía del diario «El Comercio»® de la Figura 4, tiene Derechos Reservados.

REFERENCIAS

Todos los ejemplares del diario Crítica se acceden desde el sitio <https://archive.org/search?query=creator%3A%22Cr%C3%ADtica%22>

Booth, Dick (2008) Talking of sport: the story of radio commentary. <https://archive.org/details/talkingofsportst0000boot/mode/2up?q=%22Edmond+Dehorter%22>

Comercio (2018) *La primera experiencia centenaria*. Diario El Comercio. <https://especiales.elcomercio.pe/?q=especiales/mundialistas/1930/index.html>

Crítica (1924) *Los campeones argentinos en CRITICA*. Del 2 de octubre de 1924, pág. 5.

Crítica (1930-a) *Va a ser sensacional la transmisión que CRITICA hará del gran match de mañana*. Del 16 de julio de 1930, pág. 3.

Crítica (1930-b). *CRITICA hablará mañana desde el Estadio Centenario*. Del 25 de julio de 1930, pág. 1.

Crítica (1930-c). *La única transmisión directa fue la realizada por CRITICA*. Del 16 de julio de 1930, pág. 1.

Crítica (1930-d). *Con gran emoción y delirante entusiasmo siguió el desarrollo*. Del 30 de julio de 1930, pág. 2.

Crítica (1930-e). *Audiciones de música en el estadio*. Del 19 de julio de 1930 pág. 1.

Crítica (1930-f). *Cincuenta mil personas*. Del 21 de julio de 1930, pág. 1.

Crítica (1930-g). *Estamos orgullosos de colaborar con CRITICA en la transmisión del día 12*. Del 9 de agosto de 1930, pág. 16.

Crítica (1930-h). *Floreal Borrel*. Del 8 de agosto de 1930, pág. 15.

Frosi, Robert (2024) *Les premiers Jeux olympiques à la radio*. Blog Radio-Canada. <https://ici.radio-canada.ca/sports/2050442/olympique-radio-dehorter-commentateur-sport>

Galena (2018) *Breve Historia del Relato Deportivo en Uruguay*. Blog La Galena del Sur. <https://lagalenadel-sur.com/2018/02/12/breve-historia-del-relato-deportivo-en-uruguay/>

Guiñazú, D. (2004) *A ochenta años de la primera transmisión de fútbol. El gol es un relato imaginario*. Diario Página 12. <https://www.pagina12.com.ar/diario/cultura/7-44191-2004-11-29.html>

Montano Rodríguez, Walter A.; Martínez-Pascal, M. Noel (2020) *Enseñanza de la acústica en Uruguay. Orígenes, hechos y protagonistas hasta 1930*. Revista ECOS Año 1 N° 2. <https://revistas.ude-lar.edu.uy/OJS/index.php/ecos/articulo/view/106>

Montevideo (2017) *Inicios de la Radiotelefonía*. Blog Montevideo antiguo. <https://www.montevideoantiguo.net/inicios-de-la-radiotelefonia/>

Prats, Luis (2020) *Ovación Digital, El País, Montevideo, Uruguay*. <https://www.elpais.com.uy/ovacion/futbol/el-relator-frances-que-espia-a-uruguay-desde-un-globo-en-colombes-1924>

Uruguayo (1922) *Las grandes jornadas del deporte*. Revista Mundo Uruguayo N° 196, del 12-oct-1922. <https://anaforas.fic.edu.uy/jspui/handle/123456789/93182>

Varela, Mariel (2022) *Un siglo de la primera transmisión de fútbol: ¿Cuál fue el mejor grito de gol de la historia?* Diario El País, Montevideo. <https://www.elpais.com.uy/domingo/un-siglo-de-la-primera-transmision-de-futbol-cual-fue-el-mejor-grito-de-gol-de-la-historia>

La música del viento

The music of the wind

A música do vento

Ismael Núñez

Resumen

Parte de la acústica física aplicada a los instrumentos de viento es el análisis de por qué una fuente de excitación constante (durante un cierto lapso) como el flujo de aire introducido por la boquilla, produce una vibración que genera sonido. No nos sumiremos en los detalles cuantitativos de los fenómenos de la mecánica de fluidos, que es donde radica su explicación rigurosa. No obstante, en el caso de las flautas, algunas ecuaciones aplicables al fenómeno son de origen empírico y mostraron relativos éxitos en este campo. Esto nos permitirá arribar directamente al tema que nos interesa.

Palabras clave: resonancias acústicas en tubos, regímenes laminar y turbulento en fluidos.

Abstract

Part of physical acoustics applied to wind instruments is the analysis of why a constant excitation source (for a certain period of time), such as the airflow introduced through the mouthpiece, produces a vibration that generates sound. We will not delve into the quantitative details of fluid mechanics phenomena, which is where their rigorous explanation lies. However, in the case of flutes, some equations applicable to the phenomenon are of empirical origin and have shown relative success in this field. This will allow us to arrive directly at the topic at hand.

Keywords: Acoustic resonances in tubes, laminar and turbulent flow regimes in fluids

Resumo

Parte da acústica física aplicada a instrumentos de sopro consiste na análise de por que uma fonte de excitação constante (por um determinado período de tempo), como o fluxo de ar introduzido pelo bocal, produz uma vibração que gera som. Não nos aprofundaremos nos detalhes quantitativos dos fenômenos da mecânica dos fluidos, que é onde reside sua explicação rigorosa. No entanto, no caso das flautas, algumas equações aplicáveis ao fenômeno são de origem empírica e têm demonstrado relativo sucesso neste campo. Isso nos permitirá chegar diretamente ao tópico em questão.

Palavras-chave: Ressonâncias acústicas em tubos, regimes laminares e turbulentos em fluidos.

1 INTRODUCCIÓN

La física (a través de la acústica) está inseparablemente ligada a la generación del sonido de los instrumentos musicales. Entre los instrumentos de viento (aerófonos) contruidos de madera originalmente (hoy los hay de resinas, porcelana, marfil, etc.), tenemos la flauta, el oboe, el clarinete y otros utilizados en la orquesta sinfónica (figura 1). Además existen otros más ancestrales, originarios de los pueblos primitivos y aún utilizados no solamente por poblaciones indígenas actuales, sino también en grupos musicales modernos que han incorporado interesantes variaciones tonales utilizándolos. Tal es el caso de la ocarina, la flauta de pan o la quena, entre otros (figura 2).

Todos tienen en común que la fuente primera del sonido es el aire de la boca del ejecutante. No obstante, hay diferencias en los dispositivos a la entrada del instrumento, inmediatamente luego de los labios del ejecutante.

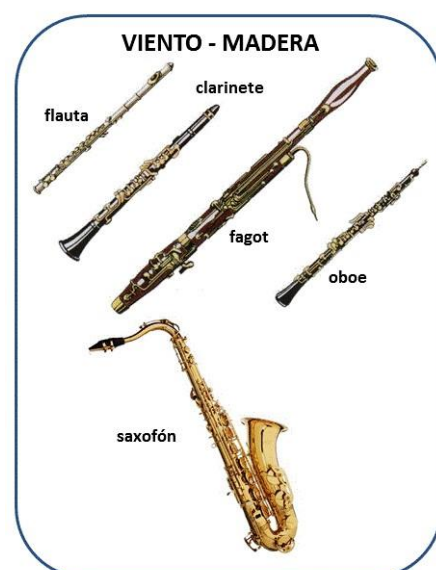


Figura. 1: Algunos aerófonos clásicos clasificados como “de madera”

En esta ocasión analizaremos solamente el origen del sonido en la flauta dulce. Es un instrumento de sencilla ejecución y relativamente fácil construcción en su versión más primitiva, conocida como “flauta

de caña”. Se puede hacer con un trozo de caña de bambú o un tubo fino de madera u otro material relativamente rígido. Ambas versiones se muestran en la figura 3.



Figura 2. Algunos aerófonos ancestrales



Figura 3. Flautas con el mismo sistema de excitación acústica

2 LOS INSTRUMENTOS DE VIENTO-MADERA

En todo instrumento musical no eléctrico es importante diferenciar entre el sistema de excitación y el de producción del sonido. La excitación no es acústica, es mecánica o aerodinámica (mecánica de fluidos), ya sea el desplazamiento de una cuerda tensa (p.ej. en la guitarra), el golpe sobre una membrana (el tambor), un chorro de aire adecuadamente preparado

(flauta, órgano de tubos, etc.). Luego, el resto del sistema utiliza esa excitación para ponerse a vibrar en sus propias frecuencias naturales y amplificar el sonido producido por las vibraciones. Este es propiamente el mecanismo de producción del sonido. En este artículo nos dedicaremos principalmente a estudiar el sistema de excitación del sonido en la flauta dulce o la de caña. Un esquema de la flauta dulce se muestra en la figura 4. En particular, nos interesa la sección longitudinal de la embocadura,

representada en el esquema de la figura 5. El chorro de aire introducido por el ejecutante proviene desde la izquierda en la figura. Cuando sale del canal de aire

se encuentra de pronto con un borde biselado, llamado “labio”. Aquí comienza la aventura del origen del sonido de la flauta, como veremos luego.

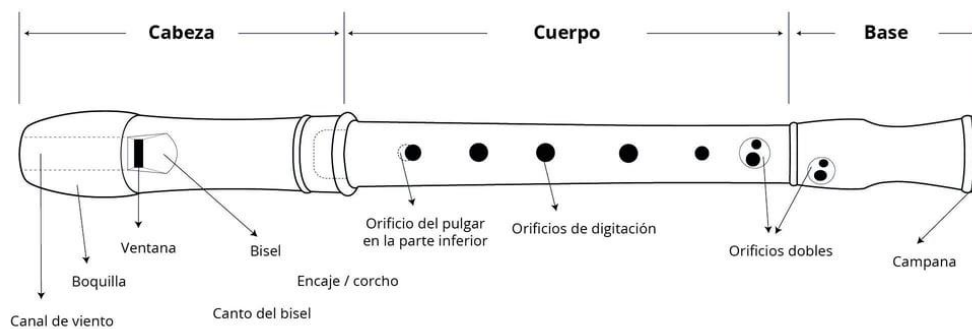


Figura 4. Partes de la flauta dulce

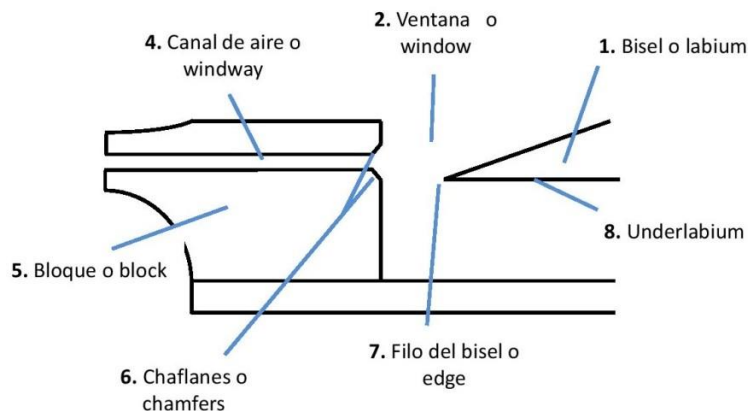


Figura 5. Corte longitudinal de la embocadura de la flauta dulce

3 GENERACIÓN DEL SONIDO EN LA FLAUTA

Según Fletcher[1] aún se discute el mecanismo aerodinámico detallado del sonido de la flauta. Está claro que no es posible separar la situación del flujo incidente al soplar con la perturbación producida sobre el mismo por las ondas reflejadas provenientes del tubo. Existe una realimentación del campo acústico retornado de la cámara de resonancia (el tubo de la flauta) sobre el flujo de aire. El flujo introducido por el canal de aire de la figura 5 es muy inestable y pequeñas perturbaciones lo agitan transversalmente antes de llegar al borde del bisel o labio de la flauta.

Trabajos experimentales y cálculos teóricos se han desarrollado para analizar el efecto de una onda acústica que perturba perpendicularmente a un chorro de aire [1],[3],[4]. La figura 6 muestra un

experimento en que un chorro de aire a 7.5 m/s sale por una rendija de 1 mm de espesor. Dos altavoces, uno encima y otro debajo en la figura, generan una onda sonora estacionaria de 658 Hz perpendicularmente al chorro. Se observa la modulación de éste en los primeros 22 mm, y luego se extingue el régimen laminar y se generan vórtices. Se produce en el chorro de aire una perturbación que viaja en la misma dirección que el chorro pero a menor velocidad, aproximadamente al 40% de la velocidad central de éste. La modulación tiene una estructura senoidal y oscila con la frecuencia del campo acústico que la excita. El chorro de aire se va ensanchando a medida que se propaga hasta que finalmente se disuelve en vórtices hacia un lado y el otro. Esto se debe a la fricción con el aire en reposo circundante y se observa claramente en la fotografía del experimento en la figura 6.

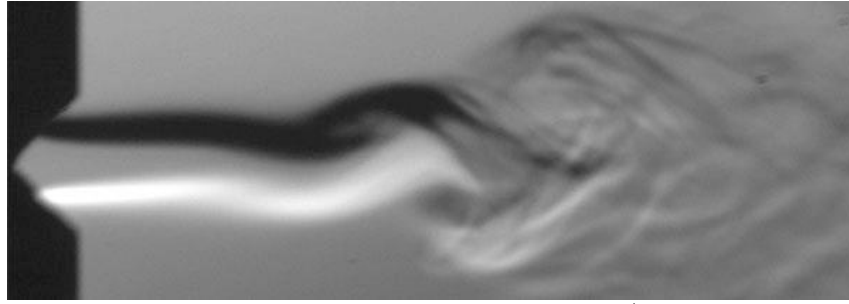


Figura 6. Chorro de aire dese una rendija de 1 mm viajando hacia la derecha a 7.5 m/s y perturbado por una onda acústica estacionaria de 658 Hz perpendicular al mismo (Imagen tomada de la referencia [4])

Un tratamiento de los más exhaustivos sobre el tema lo desarrolla Chaigne[4] en el capítulo 10. Por su parte, Fletcher[1] menciona que el tratamiento riguroso del análisis del chorro de aire perturbado por el campo acústico estacionario perpendicular es bastante complicado y, en todo caso, aún sujeto de discusión. Pero simplificando aceptablemente el modelo llega a una expresión sobre la propagación sinusoidal de la perturbación que, según afirma, se condice bien con los resultados experimentales. Nosotros estamos interesados solamente en las frecuencias producidas por este mecanismo en la flauta, no en las aproximaciones cuantitativas detalladas desarrolladas por Chaigne [4], Elder [7], Fletcher [1] [8] y otros. Esto nos permitirá saltar varias etapas importantes pero muy complejas del análisis, adoptando premisas más intuitivas que rigurosas. Obtenemos una argumentación aún más simplificada, cuya única fundamentación radica, finalmente, en que los resultados coinciden con los obtenidos experimentalmente.

Con referencia a la figura 6, tomamos un par de ejes coordenados x, y con el origen en el centro de la salida de la rendija, con el eje x horizontal (en la dirección del flujo) y el eje y vertical (sobre el plano de la rendija). Supongamos un campo acústico plano y estacionario que provoca vibraciones en la dirección del eje y , con una velocidad de las partículas de la forma $v_y(t) = v \cos \omega t$. Entonces, según Fletcher[1], la altura $y(x, t)$ de la trayectoria central del haz está modulada de acuerdo a la expresión

$$y(x, t) = \frac{v}{\omega} [\sin \omega t - \cosh \mu x \sin(\omega t - kx)] \quad (1)$$

donde ω es la frecuencia angular de excitación introducida por el campo acústico externo, μ es un coeficiente de ensanchamiento del haz, introducido por Lord Rayleigh [5] del orden de $\mu \approx 800 \text{ m}^{-1}$ [1] y $k = \omega/u$ es el número de onda ($k = 2\pi/\lambda$) del campo acústico. Recordamos que u es la velocidad de propagación de la modulación dentro del chorro de aire que tienen la velocidad V , siendo $u \approx 0.4V$. Por tal razón, la longitud de onda λ a la cual nos

referimos no es la de la perturbación acústica en la dirección del eje y , sino que es la de la modulación del flujo de aire que se propaga en la dirección del eje x . Lo destacable es que la velocidad u de propagación de la onda de perturbación en el flujo de aire es directamente proporcional a la velocidad V de éste. Esto determina que la longitud de onda λ de esta perturbación dependa inversamente de la velocidad del flujo de aire, a su vez determinada por el ejecutante de la flauta. Obviamente que la validez de la ecuación (1) se limita a la región en que el chorro de aire no comienza su dispersión, lo cual es aceptable en el caso de la flauta porque el recorrido entre su salida de la rendija y su llegada al bisel es del orden de 1 cm (ancho W de la ventana). La ecuación (1) impone la natural condición de que, por razones de continuidad, el desplazamiento $y(0, t)$ del flujo sobre la salida de la rendija debe de ser nulo. La figura 7 ilustra la trayectoria central de la modulación del flujo de aire en un instante dado (digamos, en $t = 0$).

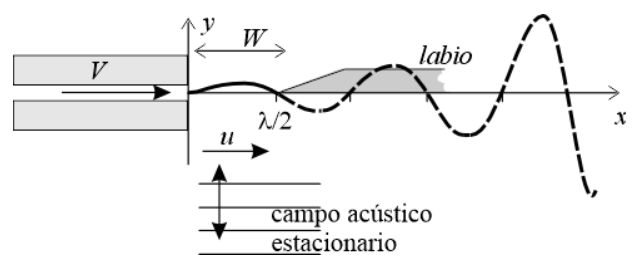


Figura 7. Modulación del chorro de aire debido a un campo acústico estacionario perpendicular. V es la velocidad del fluido, $u \approx 2V/5$ es la velocidad con que avanza la modulación

Ahora bien, ¿cómo se produce en la flauta ese campo acústico estacionario que modula el flujo de aire con su misma frecuencia? Cuando el ejecutante comienza a soplar, parte del aire se introduce en el tubo formando un pulso que viaja, rebota en el extremo libre lejano del tubo (la campana en la figura 4) y regresa hacia la ventana de la flauta. Este pulso se puede representar como una suma de todas las ondas estacionarias con las frecuencias de los modos normales en un tubo con ambos extremos libres[3].

Considerando en principio que todos los orificios de la flauta están tapados, son extremos libres la ventana y la salida de la campana (ver figura 4). Si L es la *longitud virtual* de la flauta (esto es, agregando la corrección de extremos libres a su longitud real)[6], un pulso de desplazamiento acústico que viaja por el tubo con ambos extremos libres (en $x = 0$ y en $x = L$) se representa en general como

$$\xi(x, t) = \sum_1^{\infty} A_n \cos(K_n x) \sin(\omega_n t + \phi_n) \quad (2)$$

donde $K_n = n\pi/L$, con n entero, son los números de onda de los modos normales. Sus frecuencias angulares son $\omega_n = cK_n$ donde c es la velocidad del sonido. Por lo tanto, las frecuencias de los modos normales son

$$v_n = n \frac{c}{2L} \quad (3)$$

Estas ondas estacionarias tienen sus máximos de desplazamiento en los extremos libres del tubo, uno de los cuales ($x = 0$) es un poco más allá de la ventana de la flauta (figura 5), a causa de la corrección de extremo libre [6]. Sobre la superficie de la ventana de la flauta (de ancho W) los desplazamientos ξ del campo acústico son en la dirección del eje y en la figura 7, como corresponde a la aproximación usual para toda abertura en un resonador.

Es necesario un aporte periódico de energía para el mantenimiento de una oscilación en el tubo, debido a las pérdidas por fricción y radiación acústica. Ello implica la introducción de una porción del flujo de aire por debajo del labio, en intervalos adecuados para alimentar uno de los modos normales de resonancia, como ilustra el instante representado en la figura 7. Entonces el evento fundamental ocurre a la entrada del flujo en $x = W$, donde de acuerdo con la ecuación (1) el desplazamiento vertical del flujo de aire es

$$y(W, t) = \frac{v}{\omega} [\sin \omega t - \cosh \mu W \sin(\omega t - kW)] \quad (4)$$

No obstante, como se insinúa en la fotografía de la figura 6 y se ilustra en la 7, el flujo de aire se dispersa poco más allá de su salida. La trayectoria punteada en la figura 7 indica un avance teórico de la perturbación según la ecuación (1). Pero más allá de media longitud de onda de la modulación el flujo se dispersa. Por ello es aceptable considerar solamente el menor modo estacionario ($n = 1$), que provoque una modulación que albergue media longitud de onda en el ancho de la ventana [3](Cap. 11).

En este caso, sólo consideramos el modo $n = 1$ en la ecuación (2). Omitiendo en este caso el subíndice

tenemos,

$$\xi(x, t) = A \cos(Kx) \sin(\omega t) \quad (5)$$

donde hemos elegido adecuadamente el origen temporal de forma que $\phi = 0$.

Separando en términos las dependencias de seno y coseno temporales en (4) podemos escribir

$$y(W, t) = \frac{v}{\omega} [1 - \cosh(\mu W) \cos(kW)] \sin(\omega t) + \frac{v}{\omega} \cosh(\mu W) \sin(kW) \cos(\omega t) \quad (6)$$

Para que el flujo de aire, o parte de él, entre por debajo del labio como se ilustra en la figura 7, es necesario que la vibración acústica en (5) tenga su desplazamiento hacia abajo simultáneamente con el flujo. Esto es, las expresiones (5) y (6) deben de estar en fase en $x = W$. Para ello, en la ecuación (6) el coeficiente de $\cos(\omega t)$ debe de ser nulo. Esta restricción lleva necesariamente a la condición,

$$\sin(kW) = 0 \Rightarrow kW = \pi \quad (7)$$

dado que buscamos el modo más bajo (menor valor de k).

Entonces para excitar el modo fundamental o modo 1 de vibración en la flauta dulce soprano (DO₅, con todos los orificios tonales tapados), vemos que esto sucede cuando

$$W = \frac{\lambda}{2} \quad (8)$$

Recordando que $k = \omega/u$, donde ω es la frecuencia angular del primer modo normal y u es la velocidad de propagación de la modulación en el flujo de aire (cuando se excita el modo $n = 1$), podemos escribir la segunda igualdad de (7) como

$$\frac{\omega}{u} W = \pi \quad (9)$$

La velocidad u de propagación de la modulación en el flujo de aire tiene relación directa con la velocidad V del flujo, $u \approx 2V/5$ como se dijo antes. La frecuencia angular es $\omega = 2\pi\nu$, donde ν es la frecuencia lineal. Sustituyendo estos resultados en (9) tenemos que, para reproducir la frecuencia ν del modo $n = 1$ en el tubo de la flauta con una ventana de ancho W , debemos soplar el aire aproximadamente a la velocidad

$$V \approx 5W\nu \quad (10)$$

Naturalmente que el ejecutante sopla la flauta de modo continuo. Un soplido suave excitará el modo $n = 1$ en el instrumento, pero en tanto la velocidad V del aire introducido se mantenga en el intervalo $V_1 < V < V_2$ seguirá sonando esencialmente la frecuencia $\nu = \nu_1$. Saltará la frecuencia al modo siguiente, del modo 1 al 2 (una octava) de acuerdo con (3) cuando la velocidad del aire alcance la relación (10) para el siguiente modo. Esto es fácil de experimentar con una flauta y comprobar que salta una octava cuando se sopla con más intensidad, manteniendo los mismos orificios tapados.

4 CONCLUSIONES

Parte del flujo de aire inicial introducido por la boquilla en la flauta excita ondas estacionarias en el tubo, que a su vez modulan el flujo con una perturbación armónica, que viaja con cierta velocidad u vinculada directamente con la velocidad V del flujo ($u \approx 0.4V$). Pero para que exista una alimentación periódica de aire en el tubo y mantener el sonido, debe caber media longitud de onda en el ancho W de la ventana. Si el ejecutante sopla más fuerte aumenta la velocidad del flujo modulado en la ventana de la flauta. Para mantener la condición de media longitud de onda en la misma, la frecuencia del sonido que modula debe aumentar proporcionalmente. Pero estas frecuencias están determinadas por los modos normales de resonancia en el tubo. De esta forma, la frecuencia producida saltará al siguiente modo normal a partir del modo $n = 1$ al $n = 2$, aumentando una octava la nota ejecutada [9].

REFERENCIAS

- [1] Neville H. Fletcher, Thomas D. Rossing, *The Physics of Musical Instruments*, 2nd. Edition, Springer, 2010
- [2] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Music/edge.html#c1>
- [3] John Backus, *The Acoustical Foundations of Music*, 2nd. Edition, W.W. Norton & Company, New York, 1977
- [4] Antoine Chaigne, Jean Kergomard, *Acoustics of Musical Instruments*, 2nd. Edition, ASA Papers, Springer-Verlag, New York, 2016
- [5] J.W.S. Rayleigh, *The Theory of Sound*, Vol II, 2nd. Edition, Dover Publications, New York, 1945
- [6] L.E. Kinsler, A.R. Frey, A.B. Coppens, J.V. Sanders, *Fundamentals of Acoustics*, 4th. Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1976
- [7] Samuel A. Elder, On the mechanism of sound production in organ pipes, *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 54, Nr. 6, pp. 1554-1564, 1973
- [8] N.H. Fletcher, Sound production by organ flue pipes, *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 60, Nr. 4, pp. 181-186, 1976
- [9] John W. Coltman, Jet drive mechanisms in edge tones and organ pipes, *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 60, Nr. 3, pp. 725-733, Sept. 1976.

Environmental acoustics: Comparison of noise exposure measurements recorded in dosimeters and sound level meters

Acústica ambiental: Comparación de las medidas de exposición al ruido registradas en dosímetros y sonómetros

Acústica ambiental: Comparação das medições de exposição ao ruído registadas por dosímetros e sonómetros

Marisquirena Sebrango, L.M.¹, González, A.E.²; Campello Vicente, H.³

¹ Doctoral thesis candidate, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Correo: luismarisquirena@gmail.com

² DIA-IMFIA, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

³ Departamento de Ingeniería Mecánica y Energía, Universidad Miguel Hernández de Elche, España

ABSTRACT

A methodological development is proposed to compare the results of measurements of the equivalent level of noise exposure (ambient sound) and SEL in urban areas near traffic routes obtained in the conventional way by using a fixed-point sound level meter and noise dosimeters. Class I calibrated equipment is used for the sound level meter and Class II for the dosimeter. Comparisons are made by maintaining a fixed point location for the sound level meter and using dosimeters for measurements in different media moving with reference to the fixed point. The research is ongoing. To simulate the measured scenarios a mathematical model, from the Department of Mechanical and Energy Engineering of the Miguel Hernandez University of Elche (Spain), is used to compare measured results against model results. The field values are used to calibrate the model, validating it for use when it is necessary to have exposure values at different points and at different heights. The first results show an appreciable difference between noise exposure measured in the conventional way and that inferred from ambient sound pressure levels measured with a sound level meter, for different environments in urban areas close to traffic routes, with the highest incidence on pedestrians.

Key words: dosimeters, sound level meters, environmental noise exposure.

RESUMEN

Se propone un desarrollo metodológico para comparar los resultados de las mediciones del nivel equivalente de exposición al ruido (sonido ambiente) y SEL en zonas urbanas próximas a vías de tráfico obtenidos de forma convencional mediante un sonómetro de punto fijo y dosímetros de ruido. Se utilizan equipos calibrados de clase I para el sonómetro y de clase II para el dosímetro. Las comparaciones se realizan manteniendo una ubicación de punto fijo para el sonómetro y utilizando dosímetros para mediciones en diferentes medios que se mueven con referencia al punto fijo. La investigación está en curso. Para simular los escenarios medidos se utiliza un modelo matemático, del Departamento de Ingeniería Mecánica y Energética de la Universidad Miguel Hernández de Elche (España), para comparar los resultados medidos con los resultados del modelo. Los valores de campo se utilizan para calibrar el modelo, validándolo para su uso cuando sea necesario disponer de valores de exposición en diferentes puntos y a diferentes alturas. Los primeros resultados muestran una diferencia apreciable entre la exposición al ruido medida de forma convencional y la inferida a partir de los niveles de presión sonora ambiental medidos con un sonómetro, para diferentes ambientes en zonas urbanas próximas a vías de tráfico, con mayor incidencia en peatones.

Palabras clave: dosímetros, sonómetros, exposición al ruido ambiental.

RESUMO

Propõe-se um desenvolvimento metodológico para comparar os resultados das medições do nível de exposição sonora equivalente (som ambiente) e do SEL em zonas urbanas próximas de vias de tráfego, obtidas convencionalmente por meio de um sonómetro de ponto fixo e de dosímetros de ruído. É utilizado equipamento calibrado de classe I para o sonómetro e de classe II para o dosímetro. As comparações são efectuadas mantendo um ponto fixo de localização para o sonómetro e utilizando dosímetros para medições em diferentes meios que se deslocam com referência ao ponto fixo. A investigação está em curso. Para simular os cenários medidos, é utilizado um modelo matemático, do Departamento de Engenharia Mecânica e Energética da Universidade Miguel Hernández de Elche (Espanha), para comparar os resultados medidos com os resultados do modelo. Os valores de campo são utilizados para calibrar o modelo, validando-o para utilização quando são necessários valores de exposição em diferentes pontos e a diferentes alturas. Os primeiros resultados mostram uma diferença apreciável entre a exposição ao ruído medida convencionalmente e a inferida a partir dos níveis de pressão sonora ambiente medidos com um sonómetro, para diferentes ambientes em zonas urbanas próximas de vias de tráfego, com maior incidência nos peões.

Palavras-chave: dosímetros, sonómetros, exposição ao ruído ambiente.

1. INTRODUCTION

This paper presents some results of the Doctoral Thesis in Environmental Engineering being carried out by the main author at the School of Engineering of the Universidad de la República, under the supervision of the co-authors of the article.

The aim is to compare the results of noise exposure of users of the Urban Mobility system, based on measurements recorded with dosimeters and sound level meters. The users are pedestrians and drivers and/or passengers of public transport, bicycles, skateboards and automobiles. Environmental measurements (using a sound level meter) and personal measurements (using a dosimeter) are taken in each case; comparisons are made and conclusions are drawn from the results obtained.

A noise dosimetry is a measurement, accumulated on the person, of the level of exposure to noise above a given reference level and during a given period. The reference environmental dose is derived from WHO recommendations (70 dBA for a 24-hour exposure time).

The research questions guiding the roadmap are as follows:

- How similar are the directly measured received dose and the dose inferred from an environmental measurement?
- Is $L_{Aeq,1 \text{ hour}}$ useful to describe these doses, or can other measurement intervals be used?
- How much does the mode of transport affect the dose received?
- Are the Noise Maps representative of the level of exposure of people?

2. BACKGROUND

There are results of studies relating noise and health that would justify this thesis to be used in public health predictions based on environmental measurements. Results have been found that relates traffic noise to health. Traffic noise is related to heart disease (Vienneau & Schindler, 2015), Parkinson's disease (Díaz, 2018), and traffic noise is also linked to cardiovascular, respiratory and metabolic health loss (Recio, 2016). In these cases, it is of interest to compare the environmental dose and the personal dose received by urban mobility users. The results can be used as input by researchers when making public health predictions.

As a background of studies using dosimetry is the one developed in Montevideo with bicycle users. It is a study related to environmental noise exposure of cyclists in Montevideo (Uruguay). The main objective of this study was to find the most important parameters related to noise exposure of cyclists in the

city. It warned that a good approximation of noise exposure could not always be obtained by measuring ambient levels and that noise dosimetry was necessary in that case. The variability of sound pressure levels means that it is not always easy to obtain a good approximation of the sound pressure levels to which a receptor is exposed by measuring ambient levels. In such cases, noise dosimetry must be carried out (González et al., 2023).

Another case is the one analyzed in palm oil mills. These are the noisiest industrial workplaces. The objective of the study was to determine the association between noise exposure and stress levels among workers. It focused on the non-auditory effects of excessive noise. Individual noise exposure level and ambient sound level were examined. To minimize uncertainty, this study suggested the use of sound level meters and dosimeters, as well as the observation of workers' behavior during testing. The results show that the level of noise exposure is not only related to the ambient sound level, since in some of the noisy areas the dosimeters did not register the expected noise level. There were uncontrollable limitations that prevented a final conclusion. The limitations were due to several factors such as the temporal and spatial variability of the noise levels and the specific acoustic characteristics of the noise sources. Some of the limitations are related to the consistency of the position of workers in the work area, the variability of exposure times, and the limited duration of noise measurements.

For the linkage with stress, the noise level is not the only source of annoyance, but the type of noise, communication and activity interference, noise source control, time, work pressure, social environment and workers' status, which are the other important factors to increase the stress level (Latifi Naeini & Bahri HJ, 2014).

According to the “Basic guide of recommendations for the application of common noise assessment methods in Europe (CNOSSOS-EU)” Recommendations for application to the assessment of noise from industrial sources, roads, railroads and agglomerations (Unión Europea, 2003), which responds to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council on Environmental Noise Assessment and Management (END) requires all member states of the European Union to prepare Strategic Noise Maps (SRM) for all major roads, railways, airports and agglomerations, to be reviewed every 5 years. To these are added the Noise Action Plans (RAP), also reviewed every 5 years.

The control of environmental noise is an important health and social problem. Numerous policies worldwide require noise maps to be drawn up to establish an inventory of the acoustic environment and

propose action plans to improve its health and social quality.

In general, these maps are produced by numerical simulations, which may not be sufficiently representative, for example, in terms of the temporal dynamics of noise levels.

More recently, an alternative approach has been proposed consisting of using citizens as data producers by using smartphones as geolocated acoustic measurement tools (Ayoub Boumchich, 2024).

Regarding background in Montevideo, the model generated at the University of Elche corresponding to the noise map of the City of Montevideo is supported, and in particular reference will be made to the calibration of the model for Avenida 18 de Julio (DIA-IMFIA, 2021).

It is noted that the dosimeters can operate with a threshold below 70 dB that must be controlled so that this condition does not affect the measurement or the subsequent developments of the analysis. In the case of the Pulsar Instruments dosimeters used, the threshold is 65 dBA.

3. FIELD WORK

The work methodology to be followed included:

- Exploratory dosimetry,
- Choice of equipment to be used,
- Check of equipment to be used,
- Review of available Smartphone Apps for comparison of results,
- Review of work methodology,
- Choice of measurement points.

3.1 Choice of measurement points. Criteria.

The selected criteria (Table 1) had to do with the passage or not of buses, the direction of traffic, the condition of the road, its traffic volume, the surrounding buildings, the existence or not of a central divider, the existence or not of traffic lights, and the type of road pavement.

Based on the elements to be considered, possible streets or avenues meeting the established conditions were investigated. The points chosen in the first instance to carry out the measurements can be seen in Table 2 as well as their geographic location.

Table 1. Elements to consider for the choice of sampling points.

BUSES	MANOS	ESTADO DE LA VIA	TRANSITO	EDIFICIOS	CANTERO CENTRAL	SEMAFOROS	TIPO PAVIMENTO
si/no	1 o 2	b/r/mal	alto/medio/bajo	altos/bajos	si/no	si/no	horm/asf/empedrado
Si hay o no presencia de buses en esa via	Si es via de 1 o 2 sentidos	Refiere a si el estado de la via es bueno, regular o malo. Bueno es sin fisuras ni baches con circulacion sin problemas. Malos es con dificultades para circular importantes por deficiencias de la via. Regular son las situaciones intermedias. Se puede tomar como porcentaje de afectacion de la via en superficie: hasta 5% Bueno. Por encima de 60% malo. Entre 5 y 60% Regular.	Bajo transito es menor a 100 vehiculos hora. Alto en por encima de 400 vehiculos hora. Entre 100 y 400 transito medio.	Altos es por encima de 12 metros. El resto bajos.	Presencia de separador central mayor a 1 metro.	Presencia de semaforos proximo al lugar de medida en esa via	Lor tipo pueden ser Hormigon, Asfalto, empedrado o adoquines de hormigon, balasto.

Table 2. Location of sampling points chosen

COORDENADAS (GRADOS)			
PUNTO	UBICACIÓN	SUR	OESTE
Bvar. Artigas	Hospital Pereira Rosell	-34,898478	-56,164359
Acevedo Diaz	Brandsen y Ana Monterroso de Lavalleja	-34,899525	-56,166923
18 de Julio	Arenal Grande y Fernández Crespo	-34,901166	-56,174449
Arenal Grande	Uruguay y Paysandú	-34,898263	-56,176788
Brandsen	Joaquín Requena y Juan Paullier	-34,899776	-56,168935
Chaná	Joaquín de Salterain y Joaquín Requena	-34,904088	-56,169492
Rivera	Acevedo Diaz y Juan Paullier	-34,902011	-56,167218
Patria	Itapua y Ibiray	-34,917289	-56,164799



Table 3 shows the detailed conditions that motivated the choice of these points. An attempt was made to include in the selection as many variables as possible

to cover all the aspects chosen. An important aspect was the type of pavement because of its incidence,

together with the type of vehicle involved, on the average sound pressure level.

The chosen point indicates, in each case, the location of the fixed sound level meter and then movements are made around that location and in different modes of transport carrying the dosimeters. We have: 1 Class

1 sound level meter (Bruel - Kjaer 2250) (Figure 3), 6 Class 2 dosimeters Pulsar NoisePen Model 26 (Figure 1), 1 Zoom H1 recorder, Quest and Casella calibrators (Figure 2), and 1 Zoom H1 recorder (Figure 1).

Table 3. Elements considered at each sampling point.

PUNTO	UBICACIÓN	BUSES	MANOS	ESTADO DE LA VIA	TRANSITO	EDIFICIOS	CANTERO CENTRAL	SEMAFOROS	TIPO PAVIMENTO
Bvar. Artigas	Hospital Pereira Rosell	Si	2	Bueno	Alto	Alto	Si	Si	Asfalto
Acevedo Díaz	Brandsen y Ana Monterroso de Lavalleja	No	1	Bueno	Bajo	Alto	No	No	Hormigon
18 de Julio	Arenal Grande y Fernández Crespo	Si	2	Bueno	Alto	Bajo	No	Si	Asfalto
Arenal Grande	Uruguay y Paysandú	Si	1	Regular	Alto	Alto	No	Si	Hormigon
Brandsen	Joaquín Requena y Juan Paullier	No	1	Regular	Bajo	Bajo	No	Si	Hormigon
Chaná	Joaquín de Salterain y Joaquín Requena	No	1	Regular	Bajo	Alto	No	No	Hormigon
Rivera	Acevedo Díaz y Juan Paullier	Si	1	Bueno	Alto	Alto	No	Si	Asfalto
Patria	Itapua y Ibiray	No	2	Bueno	Bajo	Bajo	No	No	Hormigon

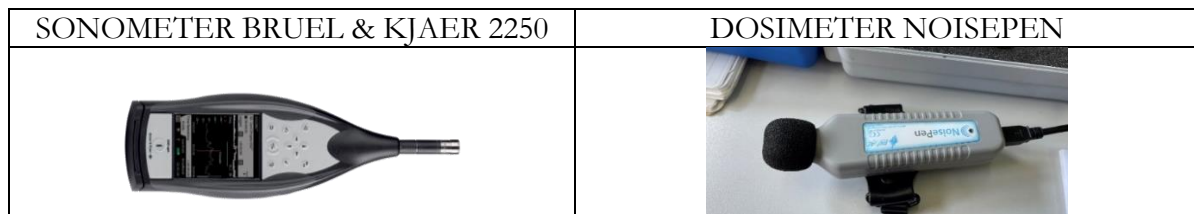


Figure 1. Equipment used

3.2 Characteristics of the measurement campaign

Several measurement campaigns were carried out with some differences between them due to the work methodology adjustments that were adopted before each measurement. Two campaigns will be analyzed below. For these campaigns the sampling points chosen are located in:

- Avda. 18 de Julio entre Tristán Narvaja y Martín C. Martínez
- Julio Herrera y Reissig entre Benito Nardone y José H. Figueira

In both cases, a fixed sound level meter and a mobile dosimeter were used, varying between modes of transport. On Avenida 18 de Julio: pedestrian, bus passenger, cyclist, skateboarder, car passenger, and in the case of Julio Herrera y Reissig only pedestrian and bus passenger.

4. RESULTS OF THE CAMPAIGN

In the measurement campaigns, in addition to recording the values in a sound level meter and dosimeter, vehicle counts were performed. Noise models are generally based on traffic composition. As an example, in the campaign on 18 de Julio Avenue, vehicle counts were taken at the fixed sound level meter station, resulting in the hourly average shown in Table 4.

Spectra were obtained in thirds of octave bands related to the characteristics of the interior of the bus and of the traffic lanes. The spectrum of Avda. 18 de Julio is compared with that of Julio Herrera y Reissig street (secondary street with bus presence) as shown in Figure 2.

It can be seen that the spectra for the traffic routes are similar with the difference that in J. H y Reissig there are higher components at 8000 and 10000 Hz. The energy levels in 18 de Julio are higher than those of J. H y Reissig street. Higher energy levels are seen in the bus in general. Low frequency components are seen in the vicinity of 25 Hz and high frequency components between 6300 and 16000 Hz, as the main difference from the open space measurement on the busways.

The record of all values for sound level meter and dosimeter are shown in Figure 3.

It is clearly seen that the sound level meter registers a wider range than the dosimeters that have their registers from 65 dBA. There is a valley in the dosimeter measurements, which corresponds to the period when the dosimeter was inside the car.

Figure 4 shows the interior of a bus and how the dosimeter is placed on the bus passenger.

In the case of the skateboard (Figure 5), we see that the values recorded in the dosimeter are higher than

those recorded in the sound level meter. This is repeated in general for all modes of transport. The stabilization time (Figure 6) of sound level meter measurements is less than required by the dosimeter.

The dosimeter stabilizes in twice the time required by the sound level meter.

Table 4. Traffic count on 18 de Julio (vehicles per hour)

VEHICLE COUNT						
Average vehicles per hour - Avda. 18 de Julio						
CARS	BUSES	TRUCKS	MOTORCYCLES	UTILITIES	OTHER (BICYCLES, SKATEBOATS, ETC)	TOTAL
651	97	6	64	34	86	938

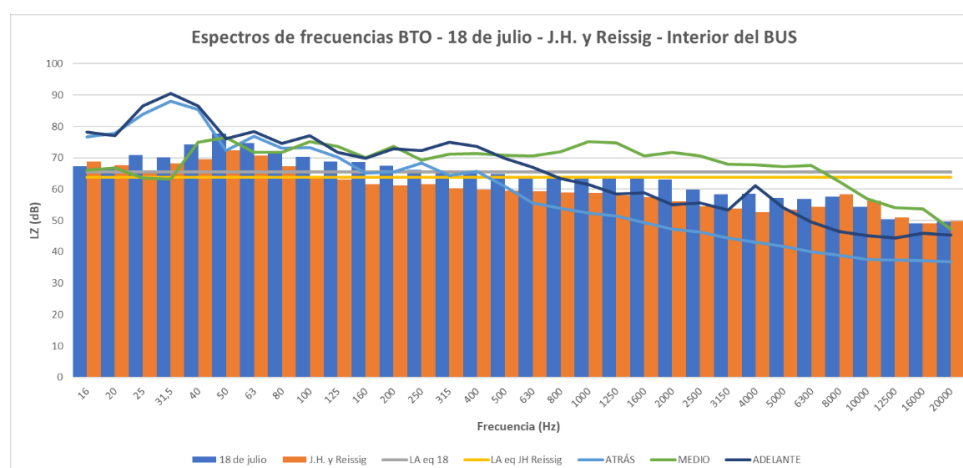


Figure 2. Frequency spectra Avda. 18 de Julio (blue bars) - Calle J. H. y Reissig (orange bars) and inside the Bus (blue-green and cyan lines).

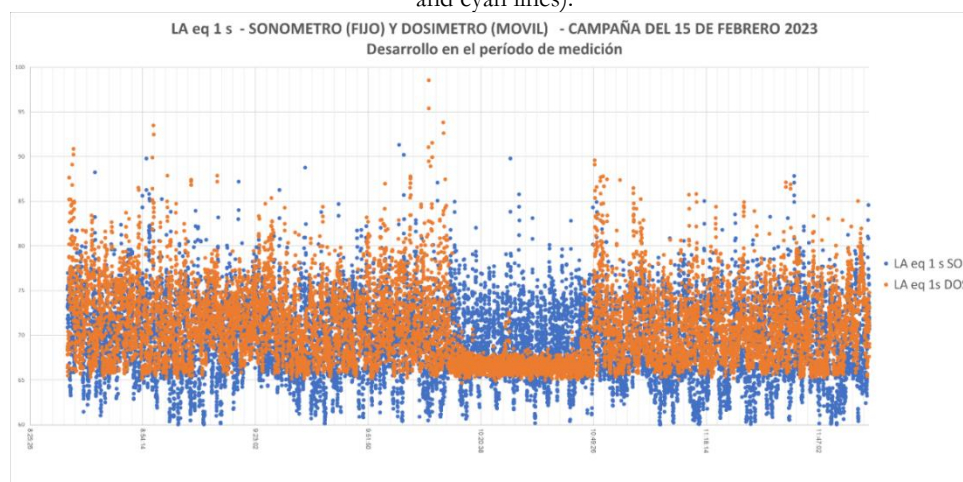


Figure 3. Values recorded in dosimeter and sound level meter. $L_{A,1s}$ (dB)



Figure 4. Passengers in Montevideo's public transportation system. Dosimeter in place.

This difference in stabilization time could be explained by the difference between the static condition for the sound level meter (sound level meter placed at a fixed point) and the dynamic condition of the dosimeter (dosimeter attached to a moving pedestrian, a

passenger of a moving mode of transport or a moving driver).

Other conditions that could influence stabilization are the construction and internal operating conditions of each equipment.

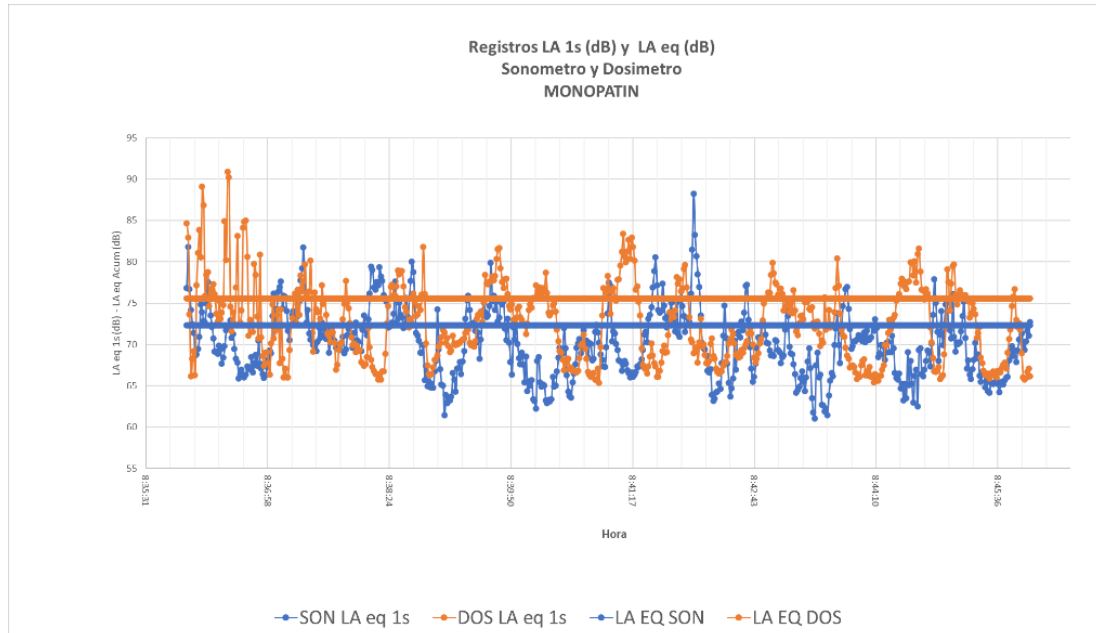


Figure 5. Values recorded on dosimeter (orange) and sound level meter (blue) - Skateboard – $L_A 1s$ (dB) and L_{Aeq} (dB)

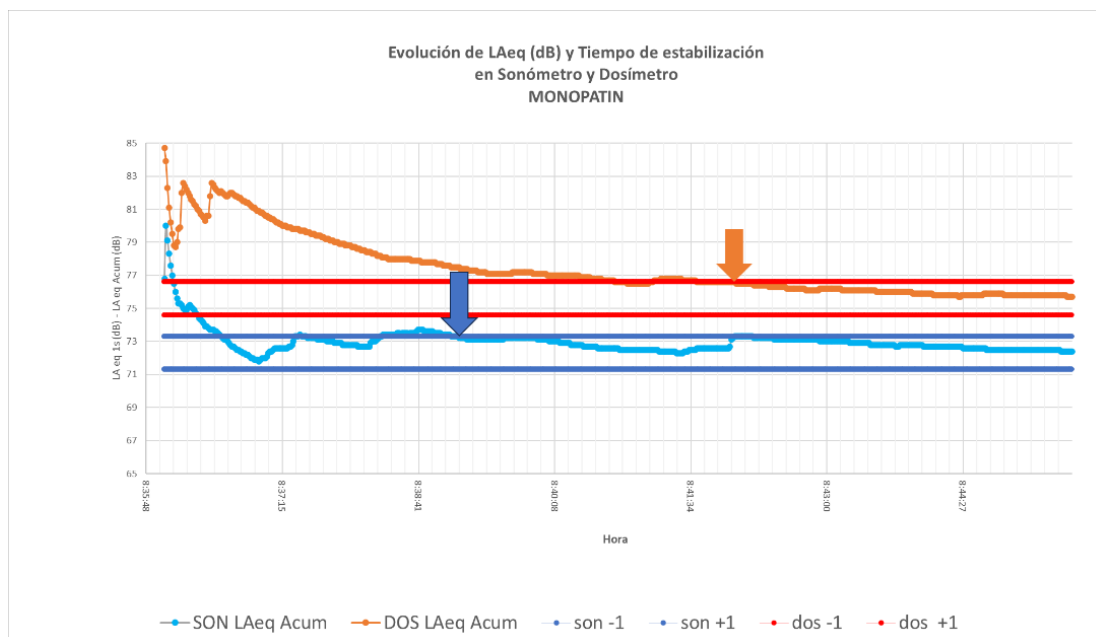
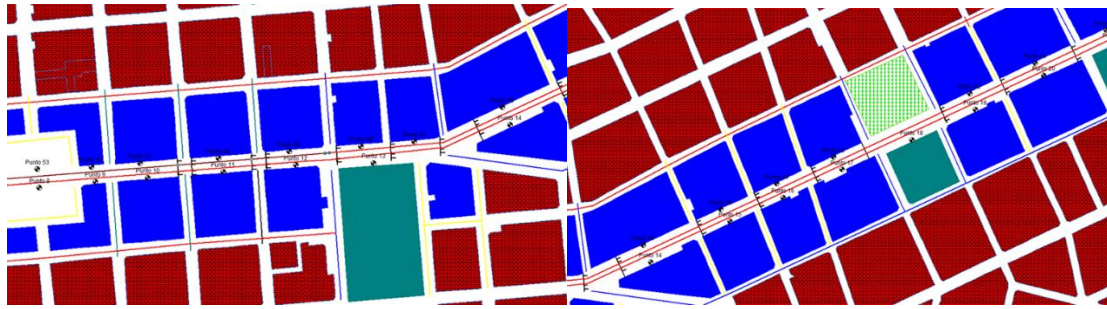


Figure 6. Evolution of L_{Aeq} in dosimeter (orange) and sound level meter (blue) - Arrows indicate stabilization times - Skateboard – L_{Aeq} (dB).

4.1 Use of the University of Elche model

A comparison was made between the values measured in the field and those obtained from the University of Elche model (Figure 7). The resulting values of the

model are in a band of ± 2 dB with respect to the values measured in the field, which is considered acceptable for noise maps oriented to environmental management (The accuracy for legislated models is ± 3 dB).



COMPARISON OF VALUES VALUES OBTAINED FROM MODEL - MEASURED VALUES (LAeq (dB))			
South Sidewalk	Obtained from model		72,3
	measured value		70,3
	+/- 2dB of measured value	68,3	72,3
North Sidewalk	Obtained from model		72,4
	measured value		74,1
	+/- 2dB of measured value	72,1	76,1

Figure 7. Use of the University of Elche model. Measured and modeled values.

The model of the University of Elche, calibrated with field data, allows obtaining, in different traffic conditions, the values of $L_{A,eq}$ at different points of the road and at different heights. Knowing the demographic data of the area, this model allows to obtain the level of noise impact on the population.

4.2 Dose calculation

In this work, one of the research questions is related to the incidence of noise pollution on pedestrians or

due to the use of different modes of transportation. For this purpose, a first approach is made by calculating the environmental doses in each case.

The calculation of environmental doses (Table 5) was made for each section measured in each mode of transport. It was compared in all cases against the values inferred from the $L_{A,eq}$ records of the sound level meter.

These results were calculated for each road measurement section.

Table 5. Results calculated by section and modes of transport, 18 de Julio.

MEDIO	HORA INICIO	HORA FIN	TOTAL	LAeq SON	LA eq DOS	DOSIS AMBIENTAL	
						DA SONOMETRO	DA DOSIMETRO
MONOPATIN	8:36:00	8:45:59	0:09:59	72,3	75,6	2,1	4,9
	10:00:00	10:09:59	0:09:59	72,5	76,6	0,9	8,2
BICICLETA	8:51:00	8:58:59	0:07:59	73,0	75,7	0,4	4,2
	10:52:00	10:58:59	0:06:59	71,6	74,3	0,1	1,7
AUTO	10:43:00	10:50:59	0:07:59	72,4	73,7	0,2	1,7
BUS PASAJERO	9:05:00	9:06:59	0:01:59	71,0	74,9	0,1	0,8
	9:09:00	9:10:59	0:01:59	71,4	72,6	0,0	0,5
	9:20:00	9:21:59	0:01:59	72,2	71,7	0,0	0,3
	9:24:00	9:25:59	0:01:59	70,8	74,3	0,0	0,7
	11:06:00	11:07:59	0:01:59	71,3	74,2	0,0	0,3
	11:40:00	11:41:59	0:01:59	74,8	74,6	0,1	1,7
	11:46:00	11:47:59	0:01:59	70,8	71,9	0,1	1,7
	11:51:00	11:53:59	0:02:59	68,8	71,3	0,1	1,7
PEATON	11:56:00	11:56:59	0:00:59	73,9	70,6	0,0	0,1
	8:59:00	9:04:59	0:05:59	71,1	73,7	0,1	1,9
	9:07:00	9:08:59	0:01:59	73,1	72,1	0,0	0,4
	9:11:00	9:19:59	0:08:59	72,0	73,3	0,0	2,5
	9:22:00	9:23:59	0:01:59	74,4	74,5	0,0	0,7
	9:26:00	9:52:59	0:26:59	71,6	73,0	0,2	6,6
	11:08:00	11:34:59	0:26:59	71,2	72,6	0,2	5,9
	11:42:00	11:45:59	0:03:59	72,4	72,2	0,1	1,7
	11:48:00	11:50:59	0:02:59	70,5	71,1	0,1	1,7
	11:54:00	11:55:59	0:01:59	71,8	74,8	0,1	1,7
	11:57:00	12:02:06	0:05:06	72,7	76,0	0,2	3,0

In all cases it can be seen that the ambient dose values are, in general, higher for dosimeters than for sound level meters. Graphically the data set is shown in the following figure (Figure 8):

Analyzing each mode and the period corresponding to the measured section, we have environmental dose values (Figure 9) obtained for both the sound level meter (blue) and the dosimeter (orange).

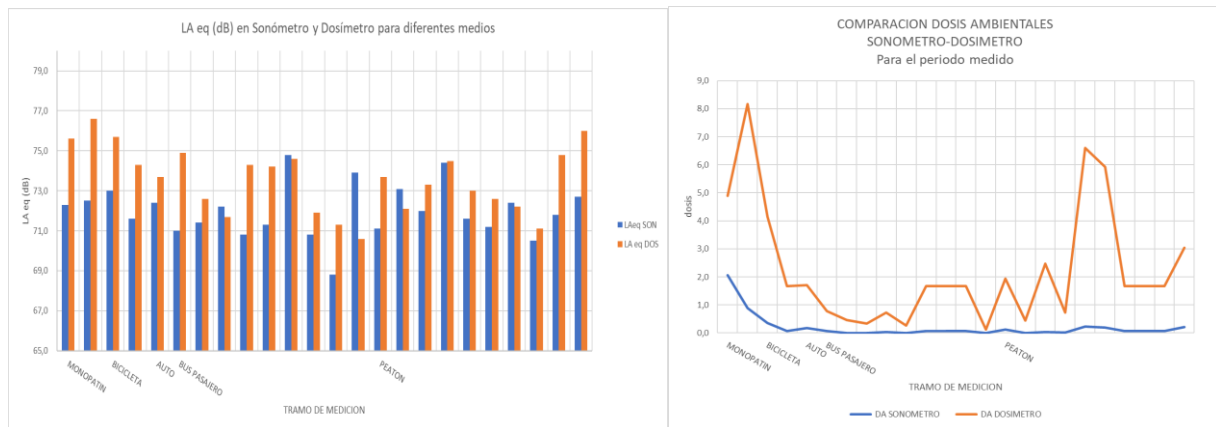


Figure 8. L_{Aeq} (izq.) and dose (der.) per section and per mode of transport (sound level meter (blue); dosimeter (orange))

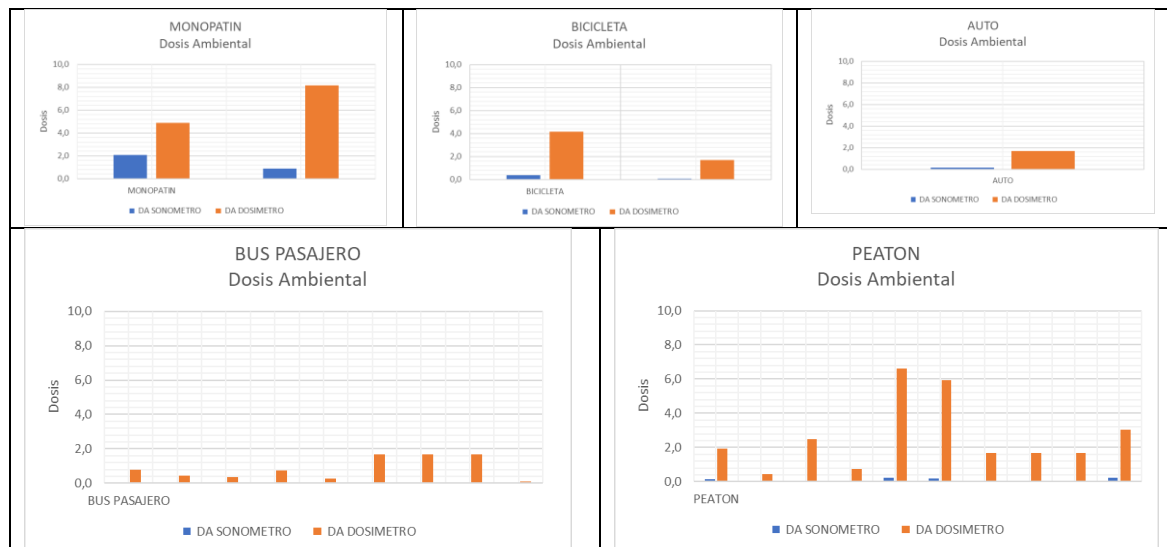


Figure 9. Calculated doses for each medium and in each recorded section.

At first glance, the highest doses are received by the skateboard user and the pedestrian. It can be seen that the maximum dose values for the car's and the bus passenger are similar. These graphs show differences between the different modes of transportation, but they are not comparable.

5 COMPARISONS BASED ON SEL

For data comparison, the SEL (IEC 61672-1:2013 standard) will be used, which allows us to be

independent of the measurement time for the comparison of scenarios.

The sound exposure level (SEL, Figure 10) is an acoustic parameter that measures the total energy of a sound event, which allows a standardized comparison of noise events and the evaluation of their impact on the environment and human health.

The form of calculation (Equation 1) is taken from IEC 61672-1:2013, thus obtaining a standardization that allows comparison of results between different transportation modes.

$$SEL = L_{AE,T} = 10 * \log \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) * dt}{p_0^2 * T_0} \right] dB = 10 * \log \left(\frac{E_{A,T}}{E_0} \right) dB = L_{Aeq,T} + 10 * \log \left(\frac{T}{T_0} \right) dB \quad (1)$$

Where

$E_{A,T}$ is L_{AE} in the interval T

E_0 = is the reference value given by $P_0^2 * T_0 = (20 \mu Pa)^2 * (1s) = 400 * 10^{-12} P_a^2 * s$
 T = is the time measurement interval in seconds starting at t_1 and ending in t_2
 T_0 = is the reference value of 1 second of sound exposure level.

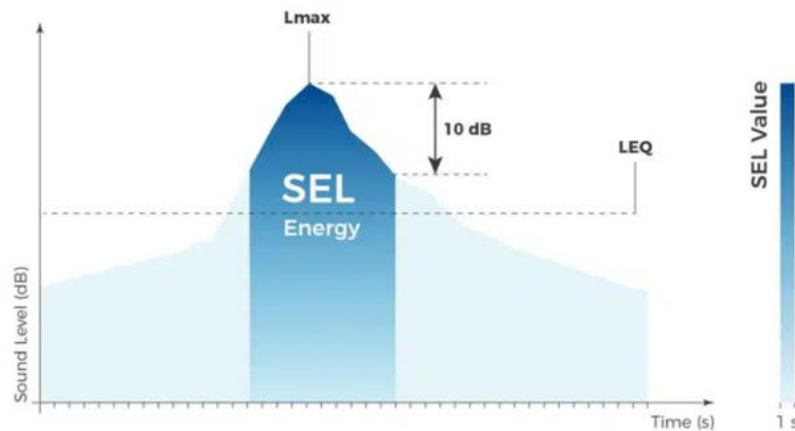


Figure 10. SEL representation (Taken from Svantek, s.f.)

The SEL values were calculated for pedestrians and for different modes of transport users, regardless of the

measurement time used and based on the reference value of 1 second used in the SEL.

It then turns out that (Figure 11):

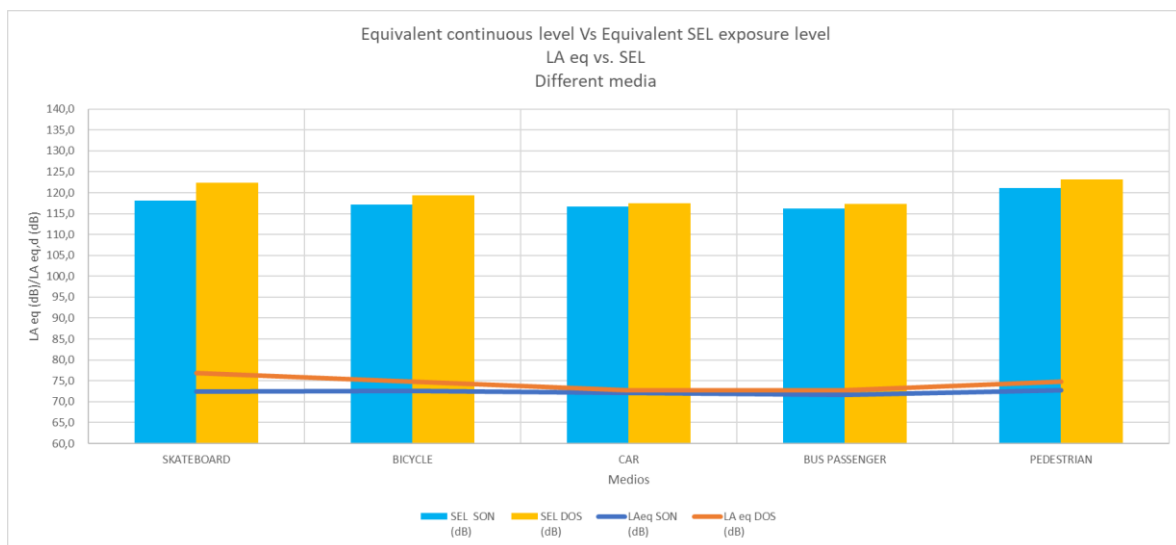


Figure 11. Comparación en equivalentes 1s – SEL de nivel continuo equivalente y SEL.

It can be seen that the highest equivalent continuous level value is for the pedestrian, with the skateboard in second place. The lowest value corresponds to the car passenger and the values for bicycle and bus passenger behave similarly.

5. CONCLUSIONS

Noise exposure measurement campaigns were carried out using Bruel-Kjaer 2250 type 1 sound level meter and NoisePen model 26 dosimeters. The campaigns included adjustments to the methodology and

differences in its implementation according to the progress of the results.

The experiences showed a tendency to higher dose values obtained with dosimeters with respect to those calculated from the sound level meter. This tendency was not maintained in all cases, so it is concluded that it is necessary to carry out more measurement campaigns considering the anomalous aspects that can condition the results of the measurements, mainly in the behavior at a distance from the sound level meter station. Comparisons with the calibrated model of the noise map of Avenida 18 de Julio (DIA-IMFIA, 2020)

showed acceptable values for acoustic maps for environmental management purposes.

As a first conclusion, to be verified with more results, it is understood that noise maps constructed with sound level meter values are not always representative of the exposure values of the population. More campaigns should be carried out to consolidate this statement. Based on these first results, the possibility remains open to consider the construction of maps based on values obtained with dosimeters, with a greater number of values obtained and considering the possibility of their implementation based on collaborative systems for the creation of information with cross-checks that guarantee the quality of the data.

In response to the research questions we ask ourselves, we can say that:

- How are the directly measured received dose and the dose inferred from an environmental measurement similar?

The differences arising from the comparison of results suggest that the measured doses are higher than those inferred from environmental measurements.

- Is $L_{Aeq,1 \text{ hour}}$ useful to describe these doses, or can other measurement intervals be used?

It has been seen in this first analysis that L_{Aeq} stabilization values in sound level meters occur at intervals of less than 1 hour, but not in dosimeters. The current data make it prudent to maintain the 1-hour period until another measurement interval is solidly established.

- How much does the mode of transport affect the dose received?

The results obtained so far show that the mode of transport has an impact on people's exposure to noise.

- Are the Noise Maps representative of the level of exposure of people?

Doubts remain about this representativeness. From the results so far obtained it can be thought that the selection of points to develop a noise map located only in proximity to traffic routes may not be representative of the level of exposure of people to noise. Consideration should be given to the presence of other sources and the possibility of dynamic updating of such noise maps if there are changes in sound generating sources or sound pressure levels or other reason why such updating is deemed desirable. Consideration of the use of participatory mapping with appropriate cross-referencing to ensure data quality is one of the current trends to achieve this.

All the work is integrated to the need to raise awareness about the relationship between exposure to noise (environmental noise pollution) and health to motivate the generation of better living conditions and to keep in mind that the main source of acoustic energy associated with environmental noise pollution is due to the exposure of people to noise coming from the transportation system. The model of the University of Elche has the potential to determine the level of noise affectation of the population included in the study area in the city of Montevideo.

REFERENCES

- Vienneau, D., & Schindler, C. J.-H. (2015). The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: A meta-analysis. *Environmental Research*, vol 138, 372-380
- Díaz, J. P.-M.-B. (2018). Short-term association between road traffic noise and healthcare demand generated by Parkinson's disease in Madrid, Spain. *Gaceta Sanitaria*, Volume 32, Issue 6,, 553-558
- Recio A, L. C. (2016). Road traffic noise effects on cardiovascular, respiratory, and metabolic health: An integrative model of biological mechanisms. *Environ Res.* 2016 Apr;146:359-70. doi: 10.1016/j.envres.2015.12.036., PMID: 26803214. , Epub 2016 Jan 22.
- González, A., D'Angelo, M., Colistro, V., Franchi, I., Vera, A., & Alemán, A. (2023). Noise Dosimetries during Active Transport in Montevideo, Uruguay: Evaluation of Potential Influencing Factors from Experimental Data. *Sustainability*, 15, 7758. <https://doi.org/10.3390/su15107758>.
- Latifi Naeni, R., & Bahri Hj Mohd Tamrin, S. (Res. 2014, 4). The Association between Noise Exposure Level and Occupational Stress Level as a Non-Auditory Effects of Noise Among Palm Oil Mill Workers. . *Asian J. Med. Pharm.* , 91–96
- Unión Europea, D. O. (2003). Recomendación de la Comisión de 6 de agosto de 2003, relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario... L.212/49, 22.8.2003. Obtenido de L.212/49, 22.8.2003.
- Ayoub Boumchich, 1. J. (2024). Blind Calibration of Environmental Acoustics Measurements Using Smartphones. *sensors*.
- DIA-IMFIA. (2020). Estudio de niveles sonoros en Avda. 18 de Julio, Informe Final. Montevideo.
- Svantek <https://svantek.com/es/academia/nivel-de-exposicion-al-sonido-sel>

Vibraciones generadas por tráfico: trabajo experimental en Montevideo, Uruguay

Traffic-induced vibrations: experimental work in Montevideo, Uruguay

Vibrações geradas pelo tráfego: trabalho experimental em Montevideu, Uruguai

Julian David Ortiz Umaña, Alice Elizabeth González

Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

Resumen: Este artículo tiene como finalidad ser un avance para la tesis de maestría en ingeniería ambiental, que está enfocada en los efectos en las personas y estructuras a causa de las vibraciones por tráfico ocasionados específicamente en buses de Montevideo-Uruguay. Se realizaron mediciones en varias calles de Montevideo con el fin de entender y establecer una base para el desarrollo de la tesis. En este documento se presentan algunos de los resultados encontrados durante el procesamiento y análisis de las mediciones, se hace especial énfasis en la gama de frecuencias dominantes en un rango de (1 a 100 Hz) como lo establecen en general las normas técnicas y normativas. A su vez, se analizan factores como la masa de la fuente y la distancia desde la fuente al receptor. También se evalúa y compara las vibraciones generadas por un bus eléctrico y un bus de combustión interna, utilizando como herramienta de análisis la máxima velocidad de vibración instantánea.

Palabras claves: Vibraciones, tráfico vehicular, buses

Abstract: This article aims to serve as a progress report for a master's thesis in environmental engineering, which focuses on the effects on people and structures caused by vibrations from traffic, specifically from buses in Montevideo, Uruguay. Measurements were conducted on several streets in Montevideo to understand and establish a foundation for the thesis development. This document presents some of the results found during the processing and analysis of the measurements, with a particular emphasis on the range of dominant frequencies between 1 and 100 Hz, as generally established by technical standards and regulations. Additionally, factors such as the mass of the source and the distance from the source to the receiver are analyzed. The vibrations generated by an electric bus and an internal combustion bus are also evaluated and compared, using the maximum instantaneous vibration velocity as an analytical tool.

Keywords: Vibrations, vehicular traffic, buses

Resumo: Este artigo tem como objetivo ser um avanço para a dissertação de mestrado em engenharia ambiental, que está focada nos efeitos em pessoas e estruturas causados pelas vibrações do tráfego, especificamente de ônibus em Montevideu, Uruguai. Foram realizadas medições em várias ruas de Montevideu com o objetivo de entender e estabelecer uma base para o desenvolvimento da dissertação. Este documento apresenta alguns dos resultados encontrados durante o processamento e análise das medições, com ênfase especial na faixa de frequências dominantes entre 1 e 100 Hz, conforme estabelecido geralmente pelas normas técnicas e regulamentações. Além disso, são analisados fatores como a massa da fonte e a distância da fonte ao receptor. As vibrações geradas por um ônibus elétrico e por um ônibus de combustão interna também são avaliadas e comparadas, utilizando a velocidade máxima instantânea de vibração como ferramenta de análise.

Palavras-chave: Vibrações, tráfego veicular, ônibus

1. INTRODUCCIÓN

El estrés y la incomodidad son sensaciones indeseables que, dependiendo de la frecuencia con la que se siente y el tiempo expuesto a esa sensación, pueden llevar a afectaciones más graves en la salud. Similar a los sonidos molestos, las vibraciones superiores a (RMS) aceleración¹ $0,8 \frac{m}{s^2}$ pueden causar incomodidad. En su momento, Watts (1990) realizó encuestas a una población local sobre las vibraciones de tráfico y arrojó que la mayoría de los residentes les molestaba las

vibraciones porque pensaban que podrían dañar sus propiedades.

Bronkhorst et al (2021), analizaron los datos de vibración de 326 edificios durante 5 años, en la provincia de Groningen, Países Bajos, en el encontraron que, para los edificios con un gran número de superaciones de umbrales, una de las fuentes más importantes parece ser el tráfico.

En Uruguay, no hay muchos estudios relacionados con las vibraciones de tráfico, y la normativa al respecto está en construcción. Por ello, este artículo tiene como finalidad servir como guía experimental que

¹ ISO 2631-1 (1997). Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole - body vibration

complemente el conocimiento sobre las vibraciones generadas por el tráfico vehicular.

1.1. Vibraciones

Las vibraciones de tráfico se generan cuando entra en contacto el pavimento y el neumático del vehículo. A partir de esta interacción bidireccional y mutuamente sostenido. Se generan unas ondas que están influenciada por la distancia desde el receptor, la topografía entre la fuente y el receptor y otras características geotécnicas del suelo (Astrauskas & Grubliauskas, 2017). Siendo las ondas Rayleigh la forma más importante para la propagación de la vibración inducida por el tráfico vehicular (Chilton et al., 1975), los vehículos más pesados son los que generan más vibración, y esta puede ser aún mayor si las condiciones del pavimento no son las mejores. Dada la cantidad y la frecuencia de uso, los buses serán el foco de este artículo.

Las vibraciones que se generan producto de esta interacción pueden atenuarse o amplificarse dependiendo de las condiciones del pavimento, la masa, la velocidad y aceleración del vehículo, (Watts,

1987; Zarei et al., 2022) y en menor medida el tipo de pavimento (Czech, 2016).

Los neumáticos son los puntos de contacto entre todo el vehículo y el pavimento, y es sobre ellos que actúan una cierta cantidad de fuerzas estáticas y dinámicas que influyen en la generación de la vibración por tráfico.

La fuerza vertical aplicada a la superficie de la carretera por cada neumático se puede separar en dos componentes: una es la componente de la carga estática, debida al peso, y la otra es una componente fluctuante conocida como la fuerza dinámica de la rueda.

La carga estática depende del propio peso del vehículo, siendo este valor constante, de la geometría y de las características de distribución de la carga estática sobre el sistema de suspensión (Cebon D., 1989).

Por otro lado, la componente dinámica es la fuerza variable que se debe a las condiciones de operación del vehículo y las características de la carretera. Existen tres tipos básicos de fuerzas dinámicas del neumático que actúan simultáneamente sobre la superficie del pavimento; en la Figura 1-1 se observa el esquema de los elementos en cuestión.

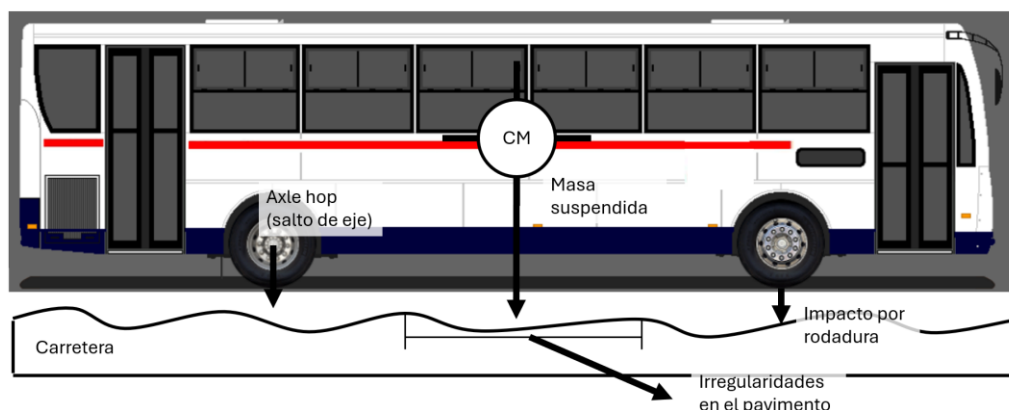


Figura 1-1. Fuerzas dinámicas que influyen en la generación de vibraciones. Fuente (busuruguayos: agosto 2013 (busuruguayos.blogspot.com))

Las fuerzas en cuestión son las fuerzas de la masa suspendida, fuerzas de impacto de rodadura y la fuerza de la masa no suspendida. A continuación, se describe cada una de las fuerzas:

Fuerzas generadas por el impacto de rodadura:

Estas se producen cuando los bloques de la banda de rodadura² de los neumáticos golpean el pavimento, causando vibraciones radiales (Bernhard & Wayson, 2005). Las irregularidades de la carretera y el peso del

vehículo acentúan estas vibraciones y añaden deformaciones en el neumático, propagándolas por toda su superficie (Ohiduzzaman et al., 2016; Rodríguez, 2023). La frecuencia de estas fuerzas suele estar por debajo de los 1000 Hz (Nilsson et al., 1980) y son afectadas principalmente por la macrotextura de la superficie y el dibujo de la banda de rodadura (Li, 2018; Dare et al., 2014).

² Las bandas de rodadura hacen referencia a la parte del neumático que entra en contacto con el pavimento.

Fuerzas de impacto generadas por la masa no suspendida del vehículo: Estos elementos incluyen ejes, ruedas y neumáticos, ubicados debajo del sistema de suspensión. Aunque no son la componente dominante de la carga dinámica, son la principal causa de vibraciones del suelo, con frecuencias generalmente en el rango de 10 a 15 Hz (Cebon, 1986; Al-Hunaidi et al.,1996).

Fuerzas de impacto generadas por la masa suspendida del vehículo: Estas fuerzas están asociadas a la parte suspendida del vehículo, que se eleva y desciende con el movimiento. Las suspensiones más comunes son la de ballesta y la neumática, cada una con sus propias características y efectos sobre la dinámica del vehículo. La suspensión de ballesta es rígida, mientras que la neumática proporciona mayor comodidad. Los niveles de vibración de la suspensión neumática son más bajos que los de la suspensión con ballestas. Las frecuencias predominantes para vehículos pesados con suspensión neumática están cercanas a 1,5 o 2 Hz, mientras que los sistemas de ballestas, de 4 Hz a 5 Hz (Singh et al., 2006; Martínez et al., 2007; Park et al., 2020).

1.2. Buses

Montevideo, la capital de Uruguay, es una ciudad dinámica con una población de 1.382.579³habitantes. Como una metrópolis moderna y en constante movimiento, el transporte público desempeña un papel crucial en la vida cotidiana de sus habitantes. El autobús, en particular, es el principal medio de transporte para la población de a pie. En la Tabla 1-1, se presentan algunas características de los diferentes tipos de buses que circulan por las calles de Montevideo, destacando aspectos como el peso bruto vehicular y el tipo de suspensión utilizado.

Tabla 1-1. Buses y sus características. Montevideo-Uruguay. Fuente (Elaboración propia)

Marca	Tipo	Peso bruto vehicular (kg)	Tipo de suspensión
BYD k9	Eléctrico	19700	Suspensión neumática
Mercedes-Benz Torino Urbano	Combustión interna	15000	Muelles ballesta, Suspensión neumática
Yutong ZK B125 CHEVEG	Híbrida	18000	Suspensión neumática.

2. LUGARES DE MEDICIÓN

Las mediciones se realizaron en diversas calles de Montevideo con pavimentos de asfalto y hormigón en condiciones aceptables. A continuación, se describen las ubicaciones y el estado del pavimento.

- No. 1 Avenida Uruguay entre Minas y Magallanes. Tipo de pavimento asfalto
- No. 2 Avenida Italia entre Santiago Nieves y Ignacio Núñez. Tipo de pavimento hormigón
- No. 3 Benito Nardone entre Patria e Ingeniero Carlos Ma. Maggiolo. Tipo de pavimento hormigón.
- No. 4 Bulevar Juan Benito Blanco entre Juan María Pérez y Francisco Solano Antuña. Tipo de pavimento asfalto.
- No. 5 José Ellauri entre Dr. José María Montero y Joaquín Núñez. Tipo de pavimento asfalto.
- No. 6 Avenida Italia entre Av. Colombes y C. Santana. Tipo pavimento Hormigón

3. METODOLOGÍA

Las mediciones de vibraciones se llevaron a cabo utilizando como instrumento de medida un sonómetro de clase 1 Brüel & Kjær tipo 2250, y un acelerómetro piezoeléctrico de baja frecuencia modelo 4534-B-002 fabricado también por Brüel & Kjær, de rango de medición 0,3 a 12800 Hz y sensibilidad de $50 \frac{mV}{ms^2}$. La adquisición de datos en cada una de las ubicaciones se realizó solo en la dirección vertical perpendicular a la superficie del pavimento (eje z) La ubicación del sensor se muestra en la Figura 3-1.

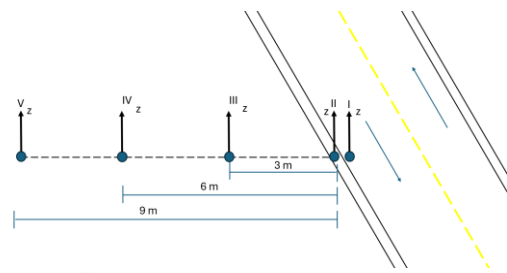


Figura 3-1. Ubicaciones generales de medición.

I	Sobre calzada
II	Sobre cordón
III	A 3 m del cordón
IV	A 6 m del cordón
V	A 9 m del cordón

La técnica de fijación se llevó a cabo utilizando una cinta de 160 micrones de espesor adhería al suelo con

³ Reportes departamentales (2019). Dirección nacional de evaluación y monitoreo

pegante epoxi, sobre esta se colocó el sensor y se dejó cerca de 10 minutos. Luego, se empezó la medición. A continuación, se muestra en la Tabla 3-1 las ubicaciones del sensor en cada una de las calles medidas.

Tabla 3-1. Ubicación de la sección

No.	I	II	III	IV	V
1	x		x		
2		x	x		
3	x				
4		x			
5	x				
6	x		x	x	x

4. RESULTADOS DE MEDICIÓN

Para el análisis, se consideraron las siguientes afirmaciones:

- a) Los niveles de decibels están referidos aceleración⁴ $10^{-6} \frac{m}{s^2}$. La fórmula para la conversión fue la siguiente.

$$N(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{a}{a_{ref}} \right)$$

- b) Densidad espectral de potencia fue utilizada como herramienta para analizar la distribución de energía, en el que se estima la distribución de la intensidad de la señal en un espectro de frecuencia. La PSD se representa normalmente en unidades de $\left(\frac{m}{s^2}\right)^2 / Hz$. (Irvine, 2007)

También fueron utilizados los siguientes lineamientos:

- a) El paso del vehículo no debía verse interferido por otro vehículo y en lo posible que entre paso y paso hubiera cerca de 10 segundos de lapso.
b) En los casos que no fue posible seguir el lineamiento anterior se tuvo en cuenta que, si al paso del bus iba otro vehículo, este debía ser de menor proporción.
c) Utilización de cámara en la mayoría de los casos, para tener en cuenta alguna situación anómala.
d) Se registro en una libreta tiempos de paso de buses.

Finalmente se realizó un análisis de gama frecuencias, buscando determinar las dominantes de acuerdo con las referencias, también se analizó la diferencia espectral entre un vehículo pesado como un bus y un vehículo pequeño, y la influencia de distancia a la fuente tomando como base la velocidad de vibración máxima generada en el instante y por último se realizó una comparación entre las vibraciones originadas por un bus eléctrico y un bus de combustión interna.

4.1 Gama de frecuencias

Uno de los objetivos de medir sobre la carretera era estar lo más cerca posible de la fuente para identificar un amplio rango de frecuencias producto de la interacción entre el vehículo y el pavimento.

Sin embargo, diversas situaciones pueden influir en las mediciones, como el paso de personas, la caída de objetos cerca del sensor o el movimiento del cable por el viento. Al revisar la bibliografía, se puede sugerir que dentro de los espectros analizados producto del paso de los buses se puede identificar unas frecuencias propias de esa interacción. A continuación, en la **Figura 4-1**, se observan los resultados obtenidos.

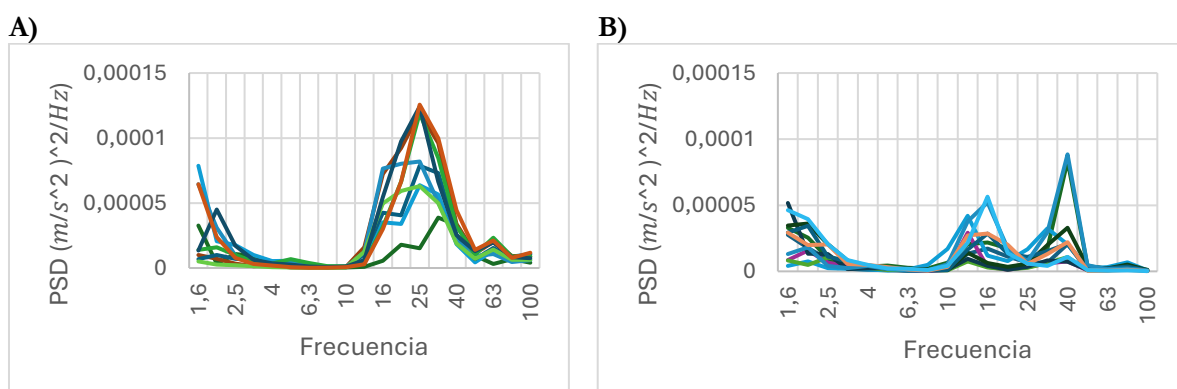


Figura 4-1. PSD (1,6-100 Hz) buses, A) Hormigón ubicación No 3 y ubicación del sensor I; B) Asfalto Ubicación No 5 y ubicación del sensor I

⁴ International Organization for Standardization. (2015) Acoustics — Preferred reference values for acoustical and vibratory levels (1683).

Las frecuencias hasta 2,5 Hz pueden atribuirse al sistema de suspensión neumática de los buses (Singh et al., 2006; Martínez et al., 2007; Park et al., 2020). Para el siguiente rango de frecuencias, hay una particularidad interesante: ambos tipos de calles muestran un inicio de amplificación de energía en 10 Hz. Sin embargo, el corte atenuación de energía para el caso de pavimento de hormigón se da en 40 Hz (ver **Figura 4-1A**), mientras que para el pavimento de asfalto se da en 25 Hz ver (ver **Figura 4-1B**), según las referencias (Cebon, 1986; Al-Hunaidi et al., 1996; Mhanna et al., 2011) las frecuencias en el rango de 10 a 15 Hz están dentro de la posibilidad que esa generación de energía una parte sea contribuida por el salto de eje del vehículo. La parte restante de rango de

frecuencias se puede atribuir según las referencias a la vibración del pavimento de la carretera producto de la interacción con el vehículo (Papan et al., 2019) y otras variables.

4.2. Influencia de la masa del vehículo

La masa es un factor relevante en la generación de vibraciones en las estructuras.

En la siguiente Figura 4-2 se observa de manera general la diferencia de espectros entre bus típicamente un bus Mercedes-Benz Torino Urbano de masa 15000 kg y vehículos pequeños que en promedio rondan 2000 kg.

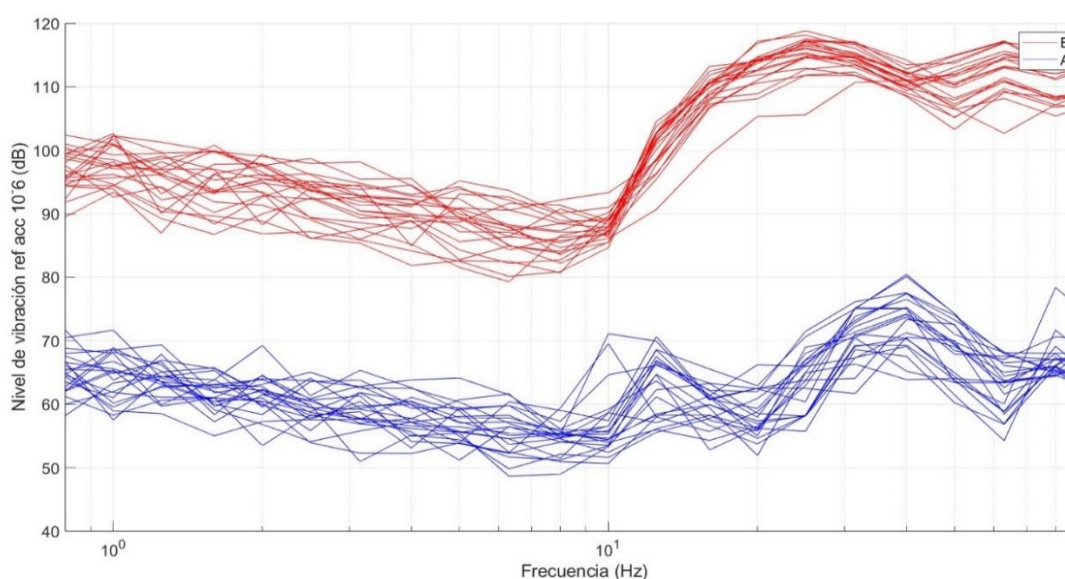


Figura 4-2. Comparación entre bus y vehículo pequeño. Tipo de pavimento hormigón

Las mediciones se realizaron en la ubicación No. 3, ubicación del sensor I. Se evidencia a lo largo de todo el espectro que la diferencia es bastante considerable cuando se habla de cantidad de energía, siendo para el bus 25 dB en promedio más grande para buses. En cuanto al comportamiento de los rangos de frecuencia que influyen en la generación de vibraciones, para frecuencias bajas hasta 10 Hz tienen un comportamiento similar entendiendo las diferencias de ganancias, por otro lado a partir de los 10 Hz se observa una diferencia en el comportamiento, siendo para los buses frecuencias entre 10 y 40 Hz teniendo su pico máximo en 25 Hz, por otro lado para vehículos livianos aunque en 10 Hz se observa también el corte de ganancia de energía esta tiene su pico máximo en 12,5 Hz con corte de atenuación en 20 Hz.

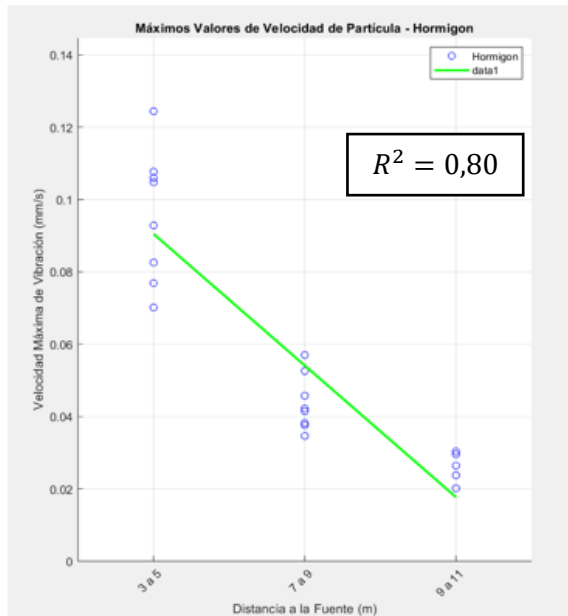
4.3. Distancia a la fuente

La distancia a la fuente es otro factor importante que influye en la percepción del ser humano o afectación de un edificio, para este caso se realizaron las mediciones a diferentes distancias y en dos lugares diferentes. Para facilitar el análisis se muestra en PPV (mm/s) y las muestras son el paso de los buses. Ver Figura 4-3

Se puede observar que para ambas medidas Figura 4-3A, realizada sobre pavimento en hormigón, y la Figura 4-3B, realizada sobre pavimento en asfalto, se obtiene una relación de atenuación negativa entre la distancia y velocidades máxima de vibración. Los resultados reflejan más lo relacionado con las referencias, donde la energía vibración generada por el paso de vehículos pesados tiende a dispersarse con la distancia, debido a la propagación en el medio y la interacción con el terreno y el tipo de pavimento.

Al visualizar las frecuencias dominantes se observa una relación con lo evidenciado en la Figura 4-1. Ver Figura 4-4.

A)



B)

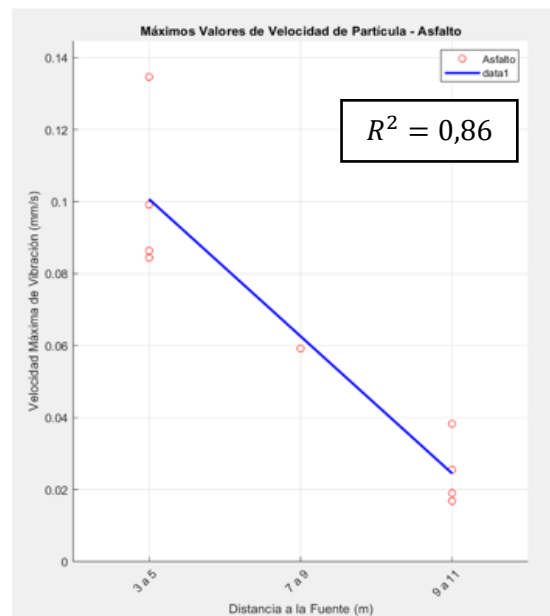
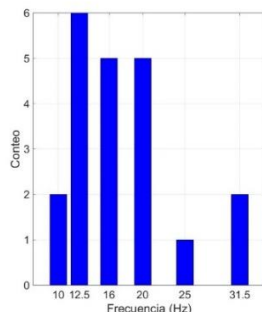


Figura 4-3. Paso de buses a diferentes distancias y en diferente pavimento. A) Pavimento de Hormigón, ubicación No 2; B) Pavimento de Asfalto, ubicación No 1.

A)



B)

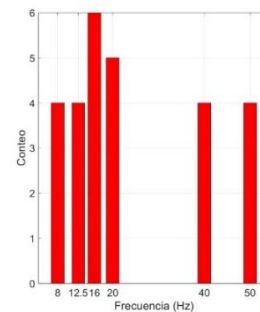


Figura 4-4. Frecuencias dominantes durante la medición. A) Hormigón; B) Asfalto.

Para este caso se tomaron las 3 frecuencias con mayor vibración máxima de velocidad de cada muestra, los valores máximos se distribuyeron en mayor medida en el rango de frecuencias de 8 a 31,5 Hz para el caso del hormigón (ver Figura 4-4A) mientras que para el asfalto (ver Figura 4-4B) las frecuencias dominantes están entre 10 a 25 Hz, con otro pico de 40 a 50 Hz.

4.4. Buses eléctricos

En relación con la contaminación sonora, los vehículos eléctricos han surgido como una alternativa para reducir la generación ruido. Sin embargo, dada la importancia que también recae sobre la contaminación generada por las vibraciones, es necesario realizar una comparación entre los

vehículos de combustión interna y los vehículos eléctricos.

Para este estudio se utilizaron, además del acelerómetro, un sonómetro Casella CEL620.clase 1, con el objetivo de registrar los niveles de presión sonora generados por el paso de los buses. La ubicación del punto de medición corresponde a la ubicación No. 4, la ubicación del sensor en el lugar se dio en el numeral II, tanto para el acelerómetro como para el sonómetro.

En la Figura 4-5 se registraron los niveles máximo-relativos al paso de vehículo, estando en el eje y la aceleración y en el eje x los niveles de presión sonora. Adicionalmente, se tomó en cuenta la velocidad de pasaje de cada bus.

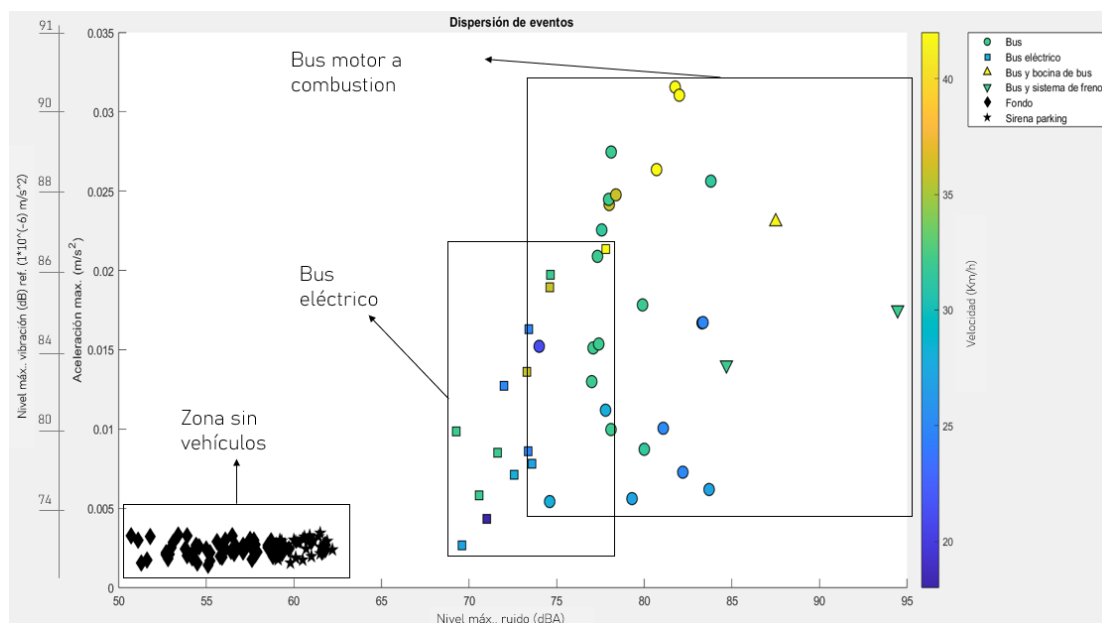


Figura 4-5. Gráfica de dispersión de eventos de paso de buses

La Figura 4-5 se presenta un conjunto de eventos correspondientes al paso de buses tomando los niveles máximos de cada paso tanto en niveles de presión sonora como en niveles de vibración. Cada punto representa el paso de bus en donde su color varía de acuerdo con la velocidad en la que iba pasando en ese momento, siendo el amarillo la mayor velocidad y el azul oscuro la de menor velocidad. En la gráfica se puede distinguir tres grandes zonas. La primera, marcada en color negro, corresponde a eventos sin tránsito de vehículos y representa el nivel de fondo. Esta región proporciona una referencia de las condiciones acústicas y vibratorias de base, con niveles considerablemente menores que los asociados al paso de buses.

La segunda zona agrupa a los buses eléctricos, cuyos niveles máximos se ubican entre 68 y 78 dB(A) en presión sonora, y entre 0,0025 y 0,0225 $\frac{m}{s^2}$ en aceleración vibratoria.

La tercera zona corresponde a los buses con motor a combustión interna, que se distribuyen en un rango de 74 a 94 dB(A) y 0,005 a 0,032 $\frac{m}{s^2}$. Este grupo presenta mayores niveles de ruido y vibración.

Respecto a la relación entre velocidad y vibración, se observó una correlación positiva moderada-alta. El coeficiente de correlación para los buses eléctricos fue de 0,65, mientras que para los buses a combustión fue de 0,68. Estos valores sugieren que, a mayor velocidad, tienden a generarse mayores niveles de vibración, en concordancia con lo reportado por Mhanna et al. (2011) y Zarei et al. (2022) en sus respectivas modelaciones, se identifica que el peso del vehículo constituye una variable determinante en la

generación de vibraciones durante el paso de estos. No obstante, en el presente análisis esta variable no fue incorporada de forma explícita, lo cual representa una limitación.

Se espera en los próximos estudios tener presente esta variable. Esto permitiría avanzar hacia una caracterización más precisa del impacto vibratorio según tipo de vehículo, condiciones de carga y velocidad de operación.

5. CONCLUSIONES

- Las frecuencias dominantes que correlacionan positivamente con el paso de un bus se encuentran en el rango de 8 a 50 Hz para pavimento de hormigón, con un pico máximo en 25 Hz, y de 8 a 20 Hz para pavimento de asfalto, con picos máximos en 12.5 Hz y 16 Hz, así como de 25 a 50 Hz con picos en 40 Hz. Para frecuencias entre 0.8 y 6 Hz no se encontró una correlación positiva.
- La distancia, ubicación y fijación del sensor son esenciales al realizar mediciones. Se observó una correlación negativa entre el alejamiento de la fuente y los valores de velocidad de vibración máxima.
- Los vehículos pesados generan la mayor cantidad de energía y vibraciones en las ciudades, especialmente si las calles están en malas condiciones.

- Al comparar buses eléctricos con buses de combustión interna, se encontró que estos últimos generan mayor vibración. Es necesario realizar más estudios y aumentar la muestra de buses eléctricos y agregar más variables como el peso del vehículo y la cantidad pasajeros para corroborar esta afirmación.
- Este es el primer estudio de su tipo en Montevideo y pretende servir como guía para los técnicos de la Intendencia de Montevideo en el análisis de vibraciones y en estudios relacionados con la molestia causada por las vibraciones del tráfico.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutora, Alice Elizabeth Gonzales, por su paciencia, consejos, apoyo y conocimiento. También agradezco a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación por la beca POS_NAC_2022_1_173756, que me ha permitido formarme y ampliar mis conocimientos.

REFERENCIAS

- Al-Hunaidi, M. O., Rainer, J. H., & Tremblay, M. (1996). Control of traffic-induced vibration in buildings. *oil Dynaraics and Earthquake Engineering*, 245-254.
- Astrauskas, t., & Grubliauskas, r. (2017). Modelling of ground borne vibration induced by road transport. *Environmental Protection Engineering*, 376-380.
- Athanasopoulos, G., Pelekis, P., & Anagnostopoulos, G. (2000). Effect of soil stiffness in the attenuation of Rayleigh-wave motions from field measurements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 277-288.
- Bernhard, R., & Wayson, R. (2005). *An Introduction to Tire-Pavement Noise*. West Lafayette: Final Research Report SQDH 2005-1.
- Bronkhorst, A. J., Moretti, D., & Geurts, C. P. (2021). Vibration Threshold Exceedances in the Groningen Building Vibration Monitoring Network. *Front. Built Environ.*
- Cebon, D. (1986). Road Damaging Effects of Dynamic Axle Loads. *Proceedings, International Symposium*. Kelowna, British Columbia.
- Cebon, D. (1989). Vehicle-Generated Road Damage: A Review. *Vehicle System Dynamics*, 107-150.
- Chilton, F., Friesz, T., & Chen, E. (1975). Traffic Induced Vibration.
- Czech, K. R. (2016). The Impact of the Type and Technical Condition of road surface on the level of traffic-generated vibration propagated to the enviroment. *Procedia Engineering*, 1358-1367.
- Dare, T., McDaniel, R., Shah, A., & Bernhard, R. (2014). *Hot Mix Asphalt Surface Characteristics Related to Ride, Texture, Friction, Noise and Durability*. Saint Paul: Report No. MN/RC 2014-07.
- Federal Transit Administration (FTA). (2018). *Transit Noise and Vibration impact Assessment Manual*.
- Irvine, T. (2007). *Power spectral density units : [G² / Hz]*.
- Li, T. (2018). Influencing Parameters on Tire–Pavement Interaction Noise: Review, Experiments, and Design Considerations. *Designs*.
- Martinez, M. A., Singh, S. P., & Cloquell-Ballester, V.-A. (2007). Measurement and Analysis of Vibration Levels for truck transport in Spain as a function of payload, suspension and speed. *Wiley InterScience*, 439-451.
- Mhanna, M., Sadek, M., & Shahrour, I. (2011). Study of traffic induced ground vibrations using a combined finite difference model. *20ème Congrès Français de Mécanique*. Besançon, France.
- Nilsson, N. A., Bennerhult, O., & Soderqvist, S. (1980). External tire/road noise: Its generation and reduction. *Inter-Noise*. Miami; Florida.
- Ohiduzzaman, M., Sirin, O., Kassem, E., & Rochat, J. L. (2016). State-of-the-Art Review on Sustainable Design and Construction of Quieter Pavements—Part 1: Traffic Noise Measurement and Abatement Techniques. *Sustainability*.
- Papan, D., Papanova, Z., & Krkoskova, K. (2019). Experimental dynamic analysis of traffic seismicity effect on historical building. *5th International Scientific Conference on Civil Engineering-Infrastructure-Mining*.
- Park, J., Choi, S., & Jung, H. M. (2020). Measurement and Analysis of Vibration Levels for truck transport enviroment in Korea. *Applied Sciences*.
- Rodríguez, M. F. (2023). Modelos numéricos de sistemas mecánicos para la mejora de la detectabilidad sonora de los vehículos silenciosos . *Doctoral dissertation, Universidad Miguel Hernández de Elche*.
- Singh, J., Singh, S. P., & Joneson, E. (2006). Measurement and Analysis of US Truck Vibration for Leaf Spring and Air Ride

-
- Suspensions, and Development of Tests to Simulate these Conditions. *Wiley InterScience*, 309-323.
- Watts, G. R. (1987). *Traffic induced ground-borne vibration in dwellings*. Crowthorne: Transport and Road Research.
- Watts, G. R. (1990). *Traffic induced vibration in buildings*. Transport and road research laboratory, Crowthorne, Berkshire.
- Zarei, Z., Sadeghi, J., & Sarkar, A. (2022). Evaluation of heavy-vehicle-induced vibrations running on asphalt pavements. *Construction and Building Materials*.

El entorno sonoro y su impacto en el neurodesarrollo del recién nacido internado

The sound environment and its impact on the neurodevelopment of hospitalized newborns

O ambiente sonoro e seu impacto no neurodesenvolvimento de recém-nascidos hospitalizados

Silvia Palermo

Unidad Académica de Fonoaudiología – Facultad de Medicina, UDELAR

Resumen

El sistema auditivo se desarrolla desde etapas tempranas de la gestación y continúa su maduración tras el nacimiento. Esto convierte al recién nacido —especialmente al prematuro o al que presenta condiciones especiales de nacimiento— en un ser altamente vulnerable a los estímulos sonoros del entorno. En la vida intrauterina, los sonidos están amortiguados por el líquido amniótico. La voz materna, por sus características acústicas y vibratorias, constituye el principal estímulo auditivo. Al nacer, el ambiente sonoro de las unidades neonatales puede superar los niveles recomendados, generando consecuencias sobre el sistema auditivo y el sistema nervioso. La exposición a ruidos intensos se asocia a alteraciones fisiológicas (hipoxemia, bradicardia, hipertensión intracraneal), trastornos del sueño, dificultades alimentarias y efectos a largo plazo como hipoacusia o retrasos en el desarrollo cognitivo y del lenguaje. Estudios han reportado que en algunas unidades neonatales los niveles de ruido pueden alcanzar picos de hasta 90 dB, lo que excede ampliamente las recomendaciones de la Academia Americana de Pediatría (<45 dB de día y <35 dB de noche). Este artículo aborda el impacto del entorno sonoro en el neurodesarrollo neonatal, integrando la Teoría Sinactiva de la Dra. Heidelise Als —que describe cinco subsistemas interrelacionados— y la propuesta NIDCAP de cuidados individualizados centrados en la familia. Estos enfoques resultan especialmente relevantes en el contexto neonatal, ya que permiten comprender cómo el recién nacido responde al entorno y adaptar los cuidados para favorecer su estabilidad y desarrollo neurológico. También se analizan los estados de alerta del neonato y los indicadores tempranos de comunicación según Brazelton, como herramientas para interpretar y respetar su comportamiento. Se destaca la importancia de crear ambientes acústicamente controlados, con la participación activa del equipo de salud y las familias, promoviendo un cuidado sensible y protector del neurodesarrollo.

Palabras claves: Recién nacido, entorno sonoro, neurodesarrollo, audición, teoría sinactiva.

ABSTRACT

The auditory system begins its development in the early stages of gestation and continues to mature after birth. This makes the newborn—especially preterm infants or those with special birth conditions—highly vulnerable to environmental sound stimuli. During intrauterine life, sounds are attenuated by the amniotic fluid. The maternal voice, due to its acoustic and vibratory characteristics, is the primary auditory stimulus for the fetus. After birth, the sound environment in neonatal units can exceed recommended levels, causing consequences for both the auditory system and the nervous system. Exposure to intense noise is associated with physiological alterations such as hypoxemia, bradycardia, or intracranial hypertension, as well as with sleep disorders, feeding difficulties, and potential long-term effects like hearing loss or delays in cognitive and language development. Various studies have reported that, in some neonatal units, noise levels can peak at up to 90 dB, significantly exceeding the recommendations of the American Academy of Pediatrics (<45 dB during the day and <35 dB at night). This article addresses the impact of the sound environment on neonatal neurodevelopment, integrating the Synactive Theory by Dr. Heidelise Als—which describes five interrelated subsystems—and the NIDCAP approach of individualized, family-centered care. Both approaches are particularly relevant in the neonatal context, as they help to understand how the newborn responds to their environment and facilitate the adaptation of care to promote neurological stability and development. Additionally, the article analyzes the newborn's states of alertness and Brazelton's early communication indicators, which are essential tools for interpreting and respecting infant behavior. The importance of creating acoustically controlled environments is highlighted, with the active participation of healthcare teams and families, promoting sensitive care that protects neurodevelopment.

Keywords: Newborn, sound environment, neurodevelopment, hearing, Synactive Theory.

RESUMO

O sistema auditivo inicia seu desenvolvimento nas fases iniciais da gestação e continua sua maturação após o nascimento. Isso torna o recém-nascido — especialmente o prematuro ou aquele com condições especiais de nascimento — altamente vulnerável aos estímulos sonoros do ambiente. Durante a vida intrauterina, os sons encontram-se atenuados pelo líquido amniótico. A voz

materna, por sus características acústicas e vibratorias, constitui o principal estímulo auditivo para o feto. Após o nascimento, o ambiente sonoro das unidades neonatais pode ultrapassar os níveis recomendados, gerando consequências tanto para o sistema auditivo quanto para o sistema nervoso. A exposição a ruídos intensos está associada a alterações fisiológicas, como hipoxemia, bradicardia ou hipertensão intracraniana, bem como a distúrbios do sono, dificuldades alimentares e possíveis efeitos a longo prazo, como hipoacusia ou atrasos no desenvolvimento cognitivo e da linguagem. Diversos estudos relataram que, em algumas unidades neonatais, os níveis de ruído podem atingir picos de até 90 dB, excedendo amplamente as recomendações da Academia Americana de Pediatria (<45 dB durante o dia e <35 dB à noite). Este artigo aborda o impacto do ambiente sonoro no neurodesenvolvimento neonatal, integrando a Teoria Sinativa da Dra. Heidelise Als — que descreve cinco subsistemas inter-relacionados — e a proposta NIDCAP de cuidados individualizados centrados na família. Ambos os enfoques são particularmente relevantes no contexto neonatal, pois permitem compreender como o recém-nascido responde ao ambiente e facilitam a adaptação dos cuidados para promover estabilidade e desenvolvimento neurológico. Além disso, analisa-se os estados de alerta do neonato e os indicadores precoces de comunicação segundo Brazelton, ferramentas essenciais para interpretar e respeitar o comportamento do bebê. Destaca-se a importância de criar ambientes acusticamente controlados, com a participação ativa da equipe de saúde e das famílias, promovendo um cuidado sensível e protetor do neurodesenvolvimento.

Palavras-chave: Recém-nascido, ambiente sonoro, neurodesenvolvimento, audição, Teoria Sinativa.

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la neonatología ha experimentado un cambio de paradigma, pasando de un modelo médico centrado exclusivamente en la supervivencia del recién nacido, sin involucrar directamente a la familia, y sin un planteo claro y real de las secuelas a futuro. Actualmente el enfoque es integral, en la búsqueda de la interdisciplina, considera el cuidado del neurodesarrollo y bienestar a largo plazo. Este nuevo modelo de atención reconoce al neonato como un ser competente, capaz de interactuar con su entorno, expresar malestar y beneficiarse de intervenciones individualizadas. En este marco, el entorno físico adquiere un papel central, especialmente el entorno sonoro, cuyo impacto sobre el desarrollo neurológico ha sido objeto de creciente atención científica.

En las unidades de cuidados neonatales, el ruido ambiental puede alcanzar niveles que superan ampliamente las recomendaciones internacionales, afectando tanto la estabilidad fisiológica como los procesos de organización neurológica del recién nacido. Estos efectos son particularmente significativos en el caso de los recién nacidos prematuros o con condiciones especiales de nacimiento, quienes presentan una mayor vulnerabilidad a los estímulos sensoriales.

Este artículo se propone analizar el impacto del entorno acústico en el neurodesarrollo neonatal, integrando conceptos clave como la Teoría Sinativa de la Dra. Heidelise Als y el modelo NIDCAP, que orientan una práctica clínica centrada en la observación del comportamiento del neonato y en la adaptación del entorno a sus necesidades. Asimismo, se abordan los estados de alerta y los indicadores tempranos de comunicación como herramientas fundamentales para promover un cuidado respetuoso y protector.

2 DESARROLLO AUDITIVO Y SENSIBILIDAD NEONATAL AL SONIDO

El sistema auditivo comienza su desarrollo hacia la tercera semana de gestación y progresa de manera continua hasta después del nacimiento. Para las semanas 10 a 12, el feto ya es capaz de percibir sonidos, aunque de forma rudimentaria. Hacia las 25 a 28 semanas de edad gestacional, la respuesta a los estímulos auditivos se vuelve más consistente, marcando un hito en la maduración sensorial intrauterina.

Durante la vida fetal, el líquido amniótico actúa como un filtro natural que atenúa los sonidos externos entre 20 y 50 decibeles. En este contexto, la voz materna se convierte en el estímulo más relevante, no solo por su frecuencia y ritmo, sino también por la transmisión vibratoria a través del cuerpo materno. Este entorno acústico intrauterino proporciona una experiencia sensorial modulada, que favorece una transición progresiva al mundo extrauterino.

Después del nacimiento, sin la protección del medio líquido, el recién nacido —particularmente el prematuro— se expone repentinamente a un entorno acústico mucho más intenso y variable. Su sistema nervioso central aún inmaduro, en proceso de mielinización y organización funcional, lo vuelve especialmente susceptible tanto a la carencia como al exceso de estímulos sonoros. Esta sensibilidad hace imprescindible el diseño de ambientes acústicos adecuados en las unidades neonatales, que favorezcan la maduración auditiva y minimicen los riesgos asociados al estrés sensorial.

Por otro lado en las unidades neonatales abundan los sonidos fuertes y agudos, con los monitores, las alarmas, el ruido del instrumental que se toca, puertas que abren y cierran, pasos que retumban dentro de la incubadora. Son estímulos casi constantes que no respetaban el ritmo circadiano de día /noche.

3 LA TEORÍA SINACTIVA

La Dra. Heidelise Als desarrolló la Teoría Sinactiva del Desarrollo como un modelo integral para comprender el comportamiento del recién nacido, en especial del prematuro. Esta teoría describe cinco subsistemas que interactúan de forma dinámica e interdependiente: el subsistema autonómico (frecuencia cardíaca, respiración, coloración de la piel), motor (tono muscular, movimientos), de estados de conciencia (transiciones entre sueño y vigilia), de atención-interacción (capacidad de involucrarse con el entorno) y de autorregulación (habilidad para recuperarse frente al estrés).

Cuando uno de estos subsistemas se ve alterado por estímulos negativos —como el exceso de ruido, la luz intensa o la manipulación invasiva—, puede provocar una desorganización global, reflejada en signos fisiológicos y conductuales como apnea, cambios de color, movimientos bruscos o llanto inconsolable. Esta desorganización, en el contexto de la internación neonatal, puede traducirse en dificultades para alimentarse, escaso aumento de peso o problemas para establecer el sueño y la vigilia, lo que a su vez retrasa el alta hospitalaria.

La Teoría Sinactiva permite interpretar estas señales como expresiones del estado del sistema nervioso del neonato, promoviendo una práctica clínica basada en la observación sensible, la adaptación del entorno y el respeto por los ritmos individuales del recién nacido.

4 ESTADOS DE ALERTA DEL RECIÉN NACIDO

El recién nacido presenta una variedad de estados de alerta que reflejan su nivel de organización neurológica y su capacidad para interactuar con el entorno. Estos estados, que incluyen el sueño profundo, sueño ligero, somnolencia, alerta tranquila, alerta activa y llanto, constituyen un indicador clínico importante del bienestar del neonato y su maduración neurológica.

El estado de alerta tranquila es especialmente valioso, ya que permite una mayor capacidad de atención, interacción social y alimentación efectiva. Es en este estado donde el neonato se muestra receptivo, con tono muscular equilibrado, mirada fija y respiración regular, condiciones óptimas para establecer el vínculo afectivo y recibir estímulos del entorno.

La transición fluida entre los distintos estados de alerta es un signo de autorregulación y estabilidad fisiológica. No obstante, en las unidades neonatales, la exposición a ruidos intensos o estímulos ambientales inadecuados puede interrumpir este proceso, dificultando la permanencia en estados organizados y generando desorganización conductual.

Por ello, resulta esencial que el equipo de salud observe y respete estos estados, adaptando los cuidados y las intervenciones al momento óptimo de receptividad del recién nacido. Esta atención personalizada permite reducir el estrés, mejorar la experiencia sensorial y potenciar el desarrollo neurológico.

5 INDICADORES TEMPRANOS DE COMUNICACIÓN SEGÚN BRAZELTON

El Dr. T. Berry Brazelton fue pionero en el reconocimiento de la capacidad comunicativa del recién nacido desde las primeras horas de vida. A través de su trabajo con la *Neonatal Behavioral Assessment Scale* (NBAS), identificó una serie de comportamientos observables que reflejan la disposición del neonato para interactuar con el entorno. Entre estos indicadores se destacan la atención visual sostenida, la orientación auditiva hacia la voz humana, los movimientos orales frente a estímulos, y la capacidad de calmarse con la voz o el contacto físico de sus cuidadores.

Estos signos tempranos de comunicación no solo permiten inferir el estado neurológico y emocional del bebé, sino que también son fundamentales para establecer un vínculo afectivo temprano y una interacción significativa. En este sentido, Nugent y Keefer ampliaron los aportes de Brazelton al sistematizar la observación de estas conductas, promoviendo un enfoque centrado en la lectura sensible del comportamiento neonatal como base para intervenciones más respetuosas y eficaces.

No obstante, la expresión de estos indicadores puede verse comprometida en entornos con estimulación sonora excesiva o caótica. El ruido elevado puede interferir en la atención, dificultar la modulación de las respuestas y limitar las oportunidades de interacción significativa. Por ello, proteger el entorno acústico es también una forma de proteger la comunicación emergente y la relación entre el recién nacido, su familia y el equipo de salud.

6 IMPACTO DEL RUIDO EN EL ENTORNO NEONATAL

Numerosos estudios han evidenciado que el ruido excesivo en las unidades de cuidados neonatales constituye una fuente de estrés para el recién nacido, con repercusiones significativas sobre su estabilidad fisiológica y desarrollo neurológico. Entre las consecuencias inmediatas se encuentran la hipoxemia, la bradicardia y el aumento de la presión intracraneal, todas asociadas con una sobrecarga del sistema nervioso autónomo en desarrollo.

A nivel conductual, se observa una mayor incidencia de irritabilidad, alteraciones del sueño, dificultad en la

alimentación y desorganización en los estados de alerta, factores que repercuten negativamente en la ganancia de peso, la autorregulación y el vínculo con los cuidadores. En el mediano y largo plazo, la exposición sostenida a ambientes acústicamente hostiles puede interferir en la maduración del sistema auditivo, aumentando el riesgo de hipoacusia y afectando el desarrollo cognitivo, comunicativo y lingüístico del niño.

La Academia Americana de Pediatría (AAP, 1997) recomienda que los niveles de ruido ambiental en las unidades neonatales no superen los 45 dB durante el día y los 35 dB por la noche, con picos transitorios inferiores a 65 dB. Sin embargo, registros en unidades reales han documentado niveles que alcanzan los 90 dB en momentos de actividad intensa, lo que subraya la necesidad urgente de implementar medidas de monitoreo y control acústico.

El entorno sonoro, por tanto, debe ser considerado un componente clínico relevante en las estrategias de cuidado del recién nacido internado, ya que incide directamente en su salud presente y en su desarrollo futuro. Proteger el ambiente acústico es, en definitiva, una forma concreta de proteger la integridad del sistema nervioso en una etapa crítica de su organización.

7 PRINCIPALES FUENTES DE RUIDO

El ruido en las unidades neonatales proviene de múltiples fuentes, tanto estructurales como humanas. Entre las más frecuentes se incluyen:

- **Diseño arquitectónico deficiente:** uso de materiales no fonoabsorbentes que favorecen la reverberación.
- **Equipamiento:** alarmas de monitores, ventiladores, incubadoras y bombas de infusión con emisiones acústicas elevadas.
- **Actividades del personal:** conversaciones, movimientos bruscos, manipulación de puertas, cajones y objetos metálicos.
- **Presencia de visitantes:** ingresos simultáneos de familiares sin regulación ni guía.

8 MEDIDAS PRÁCTICAS SUGERIDAS

Para reducir el impacto negativo del entorno acústico, se proponen estrategias aplicables en distintos niveles de intervención:

- **Monitoreo constante del nivel sonoro** mediante sonómetros visibles para el personal.
- **Diseño del macroambiente** que incluya materiales absorbentes del sonido (pisos, techos, cortinas, paneles acústicos).

- **Capacitación del personal** en el manejo respetuoso del entorno, fomentando el habla en voz baja, el cierre suave de puertas y el trabajo silencioso.
- **Regulación de alarmas:** ajustar umbrales, volúmenes y tiempos de respuesta para evitar sonidos innecesarios.
- **Organización de los controles y estudios:** establecer horarios que respeten los ciclos de sueño del neonato y limitar la concurrencia excesiva.
- **Promoción de la voz materna** como estímulo auditivo positivo, integrando prácticas de cuidado centradas en la familia (como el contacto piel a piel o el canto).
- **Uso de tecnologías adaptadas:** elegir dispositivos con mecanismos de amortiguación sonora y alarmas visuales complementarias.

Las incubadoras, en particular, actúan como cajas de resonancia, amplificando los sonidos internos y externos. Por ello, resulta esencial evitar apoyos innecesarios sobre ellas y manipular sus tapas y puertas con la mayor suavidad posible.

Estas intervenciones no sólo favorecen la estabilidad del recién nacido, sino que también mejoran el ambiente laboral del equipo de salud y fortalecen el acompañamiento familiar. La construcción de una cultura del silencio terapéutico es, así, un componente clave en las estrategias modernas de cuidado neonatal.

9 ESTRATEGIAS PARA UN ENTORNO SONORO SALUDABLE

Garantizar un entorno acústico controlado en las unidades neonatales es una medida fundamental para el cuidado del neurodesarrollo del recién nacido. La evidencia muestra que una reducción efectiva del ruido ambiental mejora la estabilidad fisiológica, promueve un sueño reparador, facilita la alimentación y favorece la interacción social temprana.

10 RECOMENDACIONES AMBIENTALES

La Academia Americana de Pediatría (AAP, 1997) sugiere que los niveles de ruido ambiental en unidades neonatales no deben superar los 45 dB durante el día ni los 35 dB durante la noche, evitando picos superiores a 65 dB. Sin embargo, alcanzar estos valores requiere un abordaje integral que combine diseño físico, tecnología y cultura organizacional.

11 CONCLUSIÓN

El entorno sonoro constituye una dimensión esencial del cuidado neonatal y debe ser considerado un

componente clínico prioritario dentro de las estrategias orientadas al neurodesarrollo. Comprender su impacto permite diseñar intervenciones eficaces, adaptadas a las necesidades reales del recién nacido y alineadas con los avances científicos en el área de la neonatología.

Modelos como la Teoría Sinactiva y el enfoque NIDCAP ofrecen marcos conceptuales y metodológicos valiosos para interpretar la conducta neonatal, promover la autorregulación y adaptar el entorno físico y emocional al ritmo y capacidad del bebé. Su aplicación permite reducir el estrés, mejorar la estabilidad fisiológica y favorecer la maduración del sistema nervioso central.

Asimismo, el abordaje centrado en el desarrollo implica reconocer al recién nacido como un ser capaz de sentir, expresar y relacionarse, y a la familia como un actor clave en el proceso de cuidado. Integrar a los padres en una cultura de protección sensorial refuerza el vínculo afectivo y promueve un entorno más predecible y seguro para el neonato.

Se destaca la importancia de la participación activa de la familia, que no solo fortalece el vínculo afectivo sino que contribuye a satisfacer las necesidades no médicas del neonato.

La evidencia científica muestra que tanto las fuentes **lumínicas** como **sonoras** pueden afectar el sistema nervioso inmaduro, generando consecuencias fisiológicas y conductuales que comprometen el bienestar y la organización del bebé.

La exposición a ruidos intensos en las unidades neonatales implica un riesgo, en provocar desde alteraciones inmediatas como apnea o desorganización del sueño, hasta consecuencias a largo plazo como trastornos auditivos, cognitivos y del lenguaje. Frente a ello, la implementación de medidas de control acústico, la formación del personal y el rediseño de prácticas asistenciales emergen como acciones urgentes y posibles. En este aspecto existen estudios que refuerzan el hecho que los hábitos de todas las personas que transitan por la unidad neonatal marcan la diferencia en el entorno más o menos ruidoso.

En definitiva, cuidar el entorno sonoro es también cuidar el desarrollo, el vínculo y el futuro del recién nacido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Als, H. (1982). Toward a synactive theory of development: Promise for the assessment of infant individuality. *Infant Mental Health Journal*, 3(4), 229–243. [https://doi.org/10.1002/1097-0355\(198224\)3:4<229::AID-IMHJ2280030405>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/1097-0355(198224)3:4<229::AID-IMHJ2280030405>3.0.CO;2-X)
- American Academy of Pediatrics, Committee on Environmental Health. (1997). Noise: A hazard for the fetus and newborn. *Pediatrics*, 100(4), 724–727. <https://doi.org/10.1542/peds.100.4.724>
- Gallegos-Martínez, J. R., Hernández-Hernández, G., & González-González, A. (2011). Índice de ruido en la unidad neonatal: Su impacto en recién nacidos. *Acta Pediátrica de México*, 32(1), 5–14.
- Graven, S. N., & Browne, J. V. (2008). Auditory development in the fetus and infant. *Newborn and Infant Nursing Reviews*, 8(4), 187–193. <https://doi.org/10.1053/j.nainr.2008.10.010>
- Philbin, M. K. (2000). The influence of auditory experience on the behavior of preterm newborns. *Journal of Perinatology*, 20(8 Pt 2), S77–S87.
- Reuter, C., Bartha-Doering, L., & Czedik-Eysenberg, I. (2023). Living in a box: Understanding acoustic parameters in the NICU environment. *Frontiers in Pediatrics*, 11, 1147226. <https://doi.org/10.3389/fped.2023.1147226>
- Nugent, J. K., & Keefer, C. H. (2016). *Manual de observación del comportamiento del recién nacido (NBAS)*. Harvard University Press.