

Universidad Internacional del Ecuador



Escuela de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Integración Curricular

Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica Automotriz

**ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE SONIDO EMITIDO POR LOS VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS EN PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL**

Lisbeth Gianella Agila Agila

Michael Stiven Márquez Zapata

Director: MSc. Gorky G. Reyes C.

Co-director: MSc. Paulina F. Vizcaino I.

Quito, Julio 2021

CERTIFICACIÓN

Nosotros, Lisbeth Gianella Agila Agila, Michael Stiven Márquez Zapata, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Lisbeth'.

Lisbeth Gianella Agila Agila

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Stiven Márquez'.

Michael Stiven Márquez Zapata

Yo, Guillermo Gorky Reyes Campaña, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Guillermo Gorky Reyes Campaña', enclosed within a large, stylized, circular flourish.

Guillermo Gorky Reyes Campaña

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi familia en especial a mi mamá y a mi papá quienes con su apoyo y esfuerzo me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y a lo largo de la vida se han convertido en mi soporte, a mi hermana que ha sido mi cómplice y mi amiga, se la dedico a mis abuelitos, tíos, primos, y amigos, quienes han aportado a lo largo de mi vida una razón para continuar con mis sueños, a todos ellos se los dedico.

- Lisbeth Gianella Agila Agila.

DEDICATORIA

Este trabajo, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que me acompañaron en el recorrido laborioso de este trabajo y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte en momentos difíciles. Primero y ante todo este trabajo va dedicado a la memoria de mis abuelos Papi Jaime y Lali, mis dos ángeles, que me guiaron durante todo el proceso educativo y personal de mi vida, quienes fueron los pilares indiscutibles de mi familia brindándonos soporte moral y económico permanente en el desarrollo de mis estudios. Segundo a mis Padres Ivan y Paula por haberme forjado como la persona que soy actualmente, la mayoría de mis logros se los debo a ustedes incluyendo este, fue un camino difícil muchas veces, pero siempre estuvieron para ayudarme a cumplir mis sueños. Y finalmente a mis hermanas Anita y Vale, quienes son simplemente mi mayor orgullo y fortaleza.

- Michael Stiven Márquez Zapata.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy gracias a Dios por convertirme en ser un profesional en lo que me apasiona y bendecirme cada día, agradezco a mi mamá Lilian, a mi papá Jorge y a mi hermana Milena que han confiado en mis capacidades a lo largo de mi vida universitaria, y han sido mis principales promotores de mis sueños, a mi compañero de tesis y mejor amigo Stiven Márquez que hizo parte de este proceso

De manera especial quiero agradecer a mi director Ing. Gorky Reyes y mi co-directora de mi tesis Ing. Paulina Vizcaino, quienes creyeron en mí para realizar este proyecto, y a la Universidad Internacional del Ecuador, por haberme enriquecido en conocimientos.

- Lisbeth Gianella Agila Agila.

INDICE

CERTIFICACIÓN	2
ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD	4
DEDICATORIA	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
AGRADECIMIENTO	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
I. INTRODUCCION	14
I. MARCO TEORICO	15
2.1 Discapacidad	16
2.2 Discapacidad Visual	16
2.3 Movilización de las personas no videntes	16
2.4 Empleabilidad de las personas no videntes	17
2.5 Ruido	17
2.6 Propagación del ruido en ambiente libre	17
2.7 Nivel de presión sonora	18
2.8 Nivel de potencia sonora	18
2.9 Tecnologías aplicadas a grupos vulnerables	18

2.10 Normativa de percepción de ruido	18
2.11 Normativas nacionales e internacionales	18
II. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Método.....	18
3.2 Materiales.....	19
3.2.1 Vehículo.....	19
3.2.2 Normativa	19
3.2.3 Equipo	20
3.2.4 Personas.....	20
3.2.5 Lugar	21
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1 Análisis a 10 km/h	21
4.2 Análisis a 20 km/h	22
4.3 Análisis a 50 km/h	22
4.4 Análisis a retro.....	23
4.5 Análisis de prueba de campo con personas con discapacidad visual	23
4.6 Discusión	23
IV. CONCLUSIONES.....	24
Bibliografía	25
6. ANEXOS.....	31

- Anexo.....	31
ANEXO	39
ANEXO	53
ANEXO FOTOGRÁFICO 1.- Pruebas en SUBARU OUTBACK 2018.....	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ángulos considerados normales de visión.....	16
Tabla 2. Niveles permitidos de ruido para fuentes móviles.....	18
Tabla 3. Ficha técnica Soul Kia EV.....	19
Tabla 4. Ficha técnica Nissan Leaf	19
Tabla 5. Requisitos mínimos de nivel de sonido en dB (A)	20
Tabla 6. Parámetros para pruebas de campo.....	21
Tabla 7. Vehículos utilizados en la investigación.....	21

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tiempos de reacción auditiva a los sonidos de paso de vehículos. Fuente: [14]	15
Figura 2. Personas discapacitadas en Quito. Fuente: [17]	16
Figura 3. Personas con discapacidad visual en Quito. Fuente: [41]	20
Figura 4. Niveles de decibeles a 10 km/h. Fuente: Autores	22
Figura 5. Niveles de decibeles emitidos a 20 km/h. Fuente: Autores.....	22
Figura 6. Niveles de decibeles emitidos a 50 km/h Fuente: Autores.....	23
Figura 7. Niveles de decibeles emitidos en retro. Fuente: Autores	23

ESTUDIO DE LOS DECIBELES OCASIONADOS EN VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y ELÉCTRICOS

Ing. Gorky G. Reyes C MSc¹, Ing. Paulina F. Vizcaino I. MSc.² Michael S. Márquez Z.³, Lisbeth G. Agila A.⁴

¹ Ingeniería Automotriz -Universidad Internacional del Ecuador, gureyesca@uide.edu.ec,

² Ingeniería Automotriz -Universidad Internacional del Ecuador, pvizcaino@uide.edu.ec

³ Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, mimarquezza@uide.edu.ec,

⁴ Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, liagilaag@uide.edu.ec,

RESUMEN

Actualmente, los vehículos eléctricos son considerados como una solución para disminuir la contaminación acústica generada en el Ecuador, sin embargo, este tipo de vehículos circulan en diferentes ciudades del país no generan ruido en comparación a los vehículos convencionales, causando inseguridad vial a las personas con discapacidad visual al por no tener ningún sonido adicional y creando una desventaja al peatón al moverse. Por eso, en el estudio se presentan alternativas para eliminar los posibles riesgos que poseen los vehículos eléctricos en el país para las personas vulnerables. El artículo se basa en una metodología exploratoria con el fin de comprender y mejorar el problema que no se encuentra definido claramente, además, está fundamentado en la norma nacional INEN 2665 y en los reglamentos internacionales como Addendum 137: Reglamento de las Naciones Unidas N° 13 y (UE) N.° 540/2014. - Los resultados obtenidos están apoyados bajo pruebas de campo que cumplieron el objetivo de determinar el nivel de decibel que emiten los vehículos eléctricos y pruebas de laboratorio que ayudaron a las personas no videntes a identificar la percepción de sonido que genera cada vehículo. Además, para las pruebas se utilizó dos vehículos, uno regido bajo normativas nacionales y otro bajo normativas internacionales. Y finalmente se logró determinar que los vehículos eléctricos que están en Ecuador no emiten ningún tipo de sonido artificial que ayude a los peatones a identificarlo con mayor facilidad, además que solo el 75% del grupo logra reconocer el vehículo con sonido artificial implementado, mientras el vehículo con sonido artificial de fábrica es reconocido al 100%, y el vehículo eléctrico sin sonido no es reconocido, por eso se recalca la importancia de emitir un sonido que no se anule con el ruido generado en el ambiente.

Palabras clave: ruido de motores, nuevas tecnologías, personas vulnerables

ABSTRACT

Currently, electric vehicles are considered as a solution to reduce noise pollution generated in Ecuador, however, these types of vehicles circulate in different cities of the country, they do not generate noise compared to vehicles, causing road insecurity for people with disabilities. visual by not having any additional sound and creating a disadvantage for the pedestrian when moving. For this reason, the study presents alternatives to eliminate the possible risks that electric vehicles have in the country for vulnerable people. The article is based on an exploratory methodology to understand and improve the problem that is not clearly defined, in addition, it is based on the national standard INEN 2665 and international regulations such as Addendum 137: United Nations Regulation No. 13 and (EU) No. 540/2014. - The results obtained are supported by field tests that met the objective of determining the level of decibels emitted by electric vehicles and laboratory tests that helped blind people to identify the perception of sound generated by each vehicle. In addition, two vehicles were obtained for the tests, one governed by national regulations and the other by international regulations. And finally it will be determined that the electric vehicles that are in Ecuador do not emit any type of artificial sound that helps pedestrians to identify it more easily, in addition that only 75% of the group manages to recognize the vehicle with artificial sound implemented, while the vehicle with artificial factory sound it is 100% recognized, and the electric vehicle without sound is not recognized, which is why the importance of emitting a sound that is not canceled by the noise generated in the environment is emphasized.

Keywords: engine noise, new technologies, vulnerable people

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en Ecuador existen 455.829 personas con algún tipo de discapacidad. Las personas no videntes representan el 11,47% de la población a nivel nacional [1], y optimizan su percepción sensorial con entrenamiento, cuando la ceguera no es congénita. Así, las personas con capacidades especiales se desenvuelven normalmente en el entorno cotidiano, [2] existen diferentes factores que interfieren en la movilidad en distintas ciudades del mundo. Por eso, la movilización para los peatones con discapacidad visual comprende dificultades, porque la infraestructura no es adecuada, y el acceso al transporte público comprende conflictos, incluso el desorden de las personas que transitan la vía pública, por eso las personas al movilizarse como pasajeros del transporte público no tienen fácil acceso ni al ingreso de buses, ni compra de boletos [3]. Además, existe un informe de la Visión de Australia y del Centro de Investigación de Accidentes de la Universidad de Monash (MUARC) que las personas ciegas o con discapacidad visual como peatones tuvieron una colisión o casi colisión con un vehículo silencioso, es decir híbrido o eléctrico. [4]

El objetivo del estudio es identificar la percepción de ruido que presentan las personas no videntes de los vehículos con nuevas tecnologías con el fin de precautelar la seguridad de las personas discapacitadas que existen en el Ecuador. Inicialmente, en el presente estudio se verifica la cantidad de personas discapacitadas a nivel nacional para luego enfocarse en una ciudad modelo, después se analiza cuáles son las normativas en relación a la movilidad de estos vehículos con nuevas tecnologías en función del beneficio de las personas con discapacidad visual, donde su único elemento es la percepción sonora, luego se analizará mediante pruebas de laboratorio y de campo en función de las variables que existe en un día normal para analizar cuál es la percepción que las personas no videntes tienen del entorno, finalmente se

comparará estos niveles con las normativas que existen a nivel nacional e internacional en beneficio de la libre movilidad y seguridad de este grupo vulnerable.

Hoy en día, tanto el peatón como los vehículos utilizan el mismo espacio, sin embargo, con los avances tecnológicos que se presentan, las ciudades incrementaron su contaminación acústica [5], la principal consecuencia de dicha contaminación acústica involucra al 80% de los vehículos automotores por el motor, la adherencia de los neumáticos y demás según el Instituto de Londres [6]. Por eso, una solución para la reducción de la contaminación del aire y el calentamiento global son los vehículos eléctricos que se caracterizan por ser silenciosos y respetuosos para el medio ambiente [7] [8]. Sin embargo, representan un problema para la seguridad vial de los peatones ciegos o con deficiente visual, porque este grupo de personas requiere una entrada acústica para detectar los vehículos que cruzan [9]. Además, el informe de la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras de Estados Unidos (NHTSA) menciona que existe la probabilidad del 37% y el 56% donde los peatones o ciclistas estén involucrados en accidentes con los vehículos silenciosos porque a medida que aumenta el ruido de fondo son más difíciles de distinguirlos entre los otros tipos de vehículos [10]. De hecho, según el Laboratorio de Investigación de Transporte del Reino Unido menciona que los vehículos eléctricos o híbridos golpean a los peatones más que un vehículo a combustión interna [11]. Por eso, la Unión Mundial de Ciegos solicitó el desarrollo de normativas de un nivel mínimo de ruido en vehículos con nuevas tecnologías para advertir a los peatones y a los no videntes [12] [13]. Sin embargo, el ruido es un sonido no deseado, considerado como un peligro ambiental que afecta la salud humana y acuática por una exposición frecuente a niveles altos. [14] Sin embargo, el ruido es un sonido no deseado,

considerado como un peligro ambiental que afecta la salud humana y acuática por una exposición frecuente a niveles altos.

El estudio realiza pruebas de laboratorio y campo basadas en investigaciones científicas y bibliográficas, en referencia a la normativa nacional INEN 2665 Medición de ruido emitido por vehículos en aceleración (método de ensayo), además, se utilizó normativas internacionales como el reglamento de tránsito del Addendum 137: Reglamento de las Naciones Unidas No. 138 basada Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de transporte por carretera silenciosos en lo que respecta a su audibilidad reducida, las cuales se utilizaron como una herramienta para comparar los resultados y determinar los parámetros de seguridad de las personas no videntes.

I. MARCO TEÓRICO

Los vehículos eléctricos y gran mayoría de vehículos híbridos son considerados silenciosos a baja velocidad lo que hace difícil de detectar al peatón, según un estudio del Departamento de Transporte del Reino Unido a baja velocidad menos de los 20 km/h existe una diferencia significativa de ruido entre los vehículos eléctricos y uno de combustión interna, en cambio, sobre los 20 km/h el ruido de los neumáticos sobre la carretera se vuelve considerable. [15]

La industria automotriz está entrando en una nueva era con los autos eléctricos en respuesta a la necesidad de mitigar el aumento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) [16], por eso, la producción de los vehículos eléctricos sigue en crecimiento como solución para la contaminación ambiental y por el aumento de la población drásticamente, [17] sin embargo, representa un riesgo para los peatones con ceguera total o pérdida parcial de visión, porque la movilización depende del sonido que emiten los vehículos al momento de cruzar una calle de manera segura. [18]

Según un artículo de la Universidad de California en Riverside realizado a un grupo de personas, indica que este grupo escucha al vehículo eléctrico cuando se encuentran un 74% más cerca con respecto a un automóvil de combustión. Reduciendo el tiempo de reacción drásticamente para prevenir un accidente. [19]

Además, una investigación realizada por el Ministerio Federal de Alemania la FAT (*Asociación de tecnología Automotriz*), participaron treinta y siete personas en dicha investigación donde diez personas tienen discapacidad visual y realizaron una prueba en un ambiente externo donde a medida que se percibe el sonido de la aproximación del vehículo, las personas tenían un botón que al momento de presionar se captura el tiempo de reacción. Como se observa en el gráfico N°1 la diferencia de percepción del sonido entre los vehículos eléctricos y de combustión es muy notorio, debido a la carencia de sonido de los motores eléctricos.

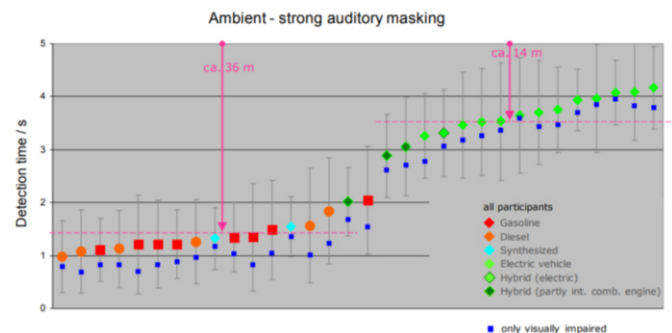


Figura 1. Tiempos de reacción auditiva a los sonidos de paso de vehículos.

Fuente: [20]

Por eso, los resultados de la investigación determinan que los peatones detectan menos a los vehículos eléctricos, porque se perciben a 14 m de distancia, en cambio, a los vehículos de combustión interna por poseer un motor se perciben a 36, aunque el tiempo de reacción no cambia cuando las personas poseen discapacidad visual.

2.1 Discapacidad

Según la OMS, discapacidad es toda ausencia de la capacidad para realizar una actividad considerada normal para el ser humano, debido a una deficiencia. [21] Es decir, este término abarca las limitaciones de actividades, deficiencia y su desempeño con la sociedad. [22]

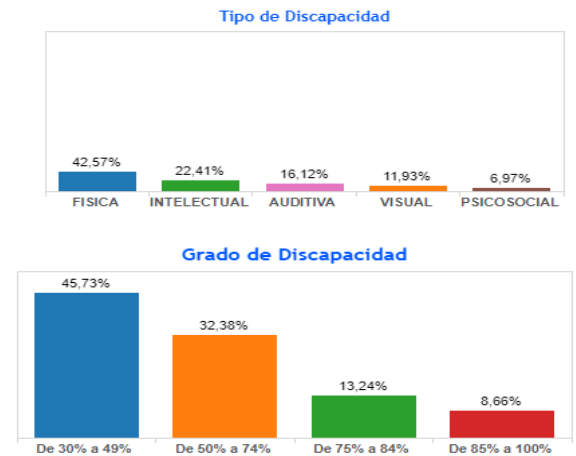


Figura 2. Personas con discapacidad en Quito.

Fuente: [23]

En Quito existe un gran porcentaje de personas con algún tipo de discapacidad, por eso, en el Gráfico 2 se evidencia que el 42,57% de los ciudadanos poseen discapacidad física, mientras el 22,41% de ciudadanos presentan discapacidad intelectual, además, el grupo de personas con discapacidad auditiva representan el 16,12%, en cambio, el 11,93% pertenece a las personas con discapacidad visual son y las personas con discapacidad psicosocial son el 6,97%.

2.2 Discapacidad Visual

La OMS define el nivel de ceguera de la persona como depender de la agudeza visual, es decir, el alcance del campo de visión que poseen las personas, lo que significa es, si la persona observa con nitidez y claridad las cosas a una distancia predeterminada, [21] donde el ojo tiene la capacidad de captar la luz que llega de distintas aristas, como se explica en la Tabla 1.

Tabla 1. Ángulos considerados normales de visión

Por la parte externas la luz 90°
debe de entrar en un ángulo

Por la parte interna a un 60°
ángulo

En la parte superior el ángulo 50°

En la parte inferior el ángulo 70°

Fuente: [24]

Sin embargo, la OMS considera que una persona es ciega cuando tiene una agudeza visual de 1/10 en la Escala de Wecker o puede percibir gradaciones de luz, en cambio, una persona considerada débil visual presenta mejor de agudeza visual de 20/200, es decir, personas con lentes. Pero también, existen las personas legalmente ciegos que tienen menor de 20/200, funcionalmente ciego que ven la luz, pero no saben de donde y finalmente los de baja visión, es la pérdida de visión y es una personas que impiden el funcionamiento a diario. [24]

2.3 Movilización de las personas no videntes

Las personas no videntes presentan desplazamiento autónomo porque se trasladan de un lugar a otro de una manera eficaz [25], siempre y cuando no existan otras limitaciones fisiológicas, por eso, al momento de moverse de un punto de origen a otro destino se apoyan en información espacial, sin embargo, para desplazarse en un entorno sin inconveniente, los mapas cognitivos son utilizados para la movilización del entorno desconocido y mediante el uso del bastón largo logran exploración háptica, [26] por ejemplo, el contacto directo con los objetos del ambiente o las descripciones verbales, de tal manera que representan una ventaja de enfrentarse de manera independiente. [27] Aunque, las personas no videntes suelen desarrollar habilidades kinestésicas que consisten en reconocer cambios de dirección, curvas y desniveles de los diferentes caminos [28]. La sociedad está tomando conciencia de incluir a las personas no videntes, por ejemplo, con el

implemento de rampas especializadas para esta población en las ciudades, sin embargo, no existen rampas en todas las aceras, ni semáforos inteligentes. [29]

2.4 Empleabilidad de las personas no videntes

Actualmente, las personas no videntes tienen poco acceso a la inclusión laboral debido al desconocimiento y desconfianza de las personas discapacitadas de un buen desenvolvimiento en el ámbito laboral, de tal manera que no gozan de oportunidades que una persona normal. [29] En Ecuador, según el Código de Trabajo artículo 33 numeral 43, toda empresa con más de 25 trabajadores está obligada a contratar al menos a 2% de personas con discapacidad, sin embargo, en el 2017 menos del 1% de personas con discapacidad visual cuentan con trabajo. [30] Sin embargo, en Estados Unidos es diferente el panorama para las personas no videntes, porque en el 2011 sólo el 13% de esa población se encontraban en busca de empleo [31], ya que en ese país cuenta con la Ley ADA, que hace referencia a la no discriminación de las personas discapacitadas.

2.5 Ruido

El ruido es el sonido no deseado, se considera un fenómeno vibratorio que causa sensaciones de molestia a las personas porque produce daños psicológicos y fisiológico, ya que el ruido emite una emisión de sonido que las personas no quieren escuchar [32]. Sin embargo, existen diferentes modelos matemáticos que permiten determinar el nivel de emisión sonora, como el Modelo de Valdivia de Chile que hace de referencia a 25 metros (dBA) [33].

$$LRE = 33.6 + 10 * \log (Ql + 9.2 \cdot Qp + 6 \cdot Qb) + Cvel + Cpav$$

Donde:

LRE: Nivel de emisión de referencia a 25 metros (dBA).

Ql, *Qp*, *Qb*: Flujos de vehículos livianos, pesados y buses respectivamente.

Cvel: Corrección por velocidad de circulación (dBA).

Cpav: Corrección por tipo de carpeta de rodado (dBA).

2.6 Propagación del ruido en ambiente libre

Las personas con discapacidad visual se encuentran expuestas a dificultades y peligros cuando se movilizan de un lugar a otro porque desconocen el entorno, aunque este grupo de personas tengan sus sentidos más desarrollados, sin embargo, las ciudades no cuentan con el diseño correcto para la movilización, lo que causa inseguridad vial al momento de trasladarse. Igualmente, un estudio realizado a cerca de la contaminación acústica demostró que "Más del 90% de las personas consideraban que la contaminación acústica era perjudicial para su salud, alrededor del 79% de las personas sintieron dolor de cabeza después de regresar a casa, mientras que el 33% de las personas respondieron sobre experimentar alteraciones durante el sueño. [34] Sin embargo, la propagación de ruido se determina de dos maneras, la fuente puntal es cuando la energía sonora se propaga de forma esférica, en cambio de manera lineal es cuando el nivel de sonido se produce cilíndricamente. [32]

Fuente Puntal

$$Lp = LW - 20 \log_{10} (r) - 8 \text{ dB}$$

Fuente Lineal

$$Lp = LW - 10 \log_{10} (r) - 5 \text{ dB}$$

Donde:

Lp: Nivel de ruido equivalente en el punto receptor [dB]

LW: Nivel de potencia sonora de la fuente en dB [$pW=10^{-12}$ W]

R: Distancia entre el punto de medición y el origen [m]

El sonido más débil que el oído percibe es producido por una presión sonora de 20 μ Pascales [35], soportando presiones un millón de veces superior a esta cantidad. Por eso, la unidad de medida utilizada es el decibel, que significa una expresión matemática logarítmica, el cual, es el resultado de la comparación de la presión sonora de referencia y la presión media, y se formula como Nivel de Presión Sonora, y así 0dB equivale a μ Pascales de una presión sonora. [35]

2.7 Nivel de presión sonora

$$L_p = 10 \log p^2 / P_{ref} (dB)$$

$$P_{ref} = 2 \times 10^{-5} [N/m^2]$$

De esta expresión se observa que, si aumentamos la Presión al doble, se tiene un aumento de 6dB.

2.8 Nivel de potencia sonora

$$L_w = 10 \log W^2 / W_o (dB)$$

$$W_{ref} = 10^{-12} [W]$$

De esta expresión se observa que, si aumentamos la Potencia al doble, tiene un aumento de 3dB. El nivel de presión sonora varía dependiendo de la distancia del receptor por el contrario el nivel de potencia es constante porque solo depende de las características de la fuente. Ese el motivo por el cual los decibeles en la potencia sonora son menores y en la presión mayores.

2.9 Tecnologías aplicadas a grupos vulnerables

Actualmente, en el sector automotriz existen diferentes fabricantes de vehículos que crearon sonidos artificiales perceptibles al oído humano, de tal manera, una vez desarrollado, implementan distintos dispositivos electrónicos como el Sound Racers, EC Tunes Enhanced, Vehicles Acoustics o EVS, además diferentes investigaciones de la Dresden University of Technology muestran que con la implementación y desarrollo en los vehículos eléctricos de distintos dispositivos logran a los seres humanos percibir el sonido de mejor manera que a un vehículo convencional.

2.10 Normativa de percepción de ruido

Actualmente, en Ecuador no existen normativas nacionales sobre la percepción de ruido, sin embargo, el Reglamento de Seguridad y Salud del trabajador establece que el máximo decibel permisible para el trabajador es de 85 dBA durante 8 horas de exposición, siempre y cuando tenga toda la protección auditiva. Sin embargo, la OMS establece que de 85 a 90 dBA es fuerte. [36]

2.11 Normativas nacionales e internacionales

Se realizarán pruebas basadas en normativas nacionales como la INEN 2665 Medición de ruido emitido por vehículos en aceleración (método de ensayo) [37], además, se utilizará normativas internacionales como el Addendum 137: Reglamento de las Naciones Unidas No. 138 basada Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de transporte por carretera silenciosos en lo que respecta a su audibilidad reducida, para realizar una comparación de resultados y establecer distintos parámetros de seguridad para las personas con discapacidad [38]. Sin embargo, la Tabla 1 determina los valores máximos que los vehículos convencionales emiten en el DMQ, para que no exista contaminación acústica, pero que sean percibidos al oído humano.

Tabla 2. Niveles máximos permitidos de ruido para vehículos automotores.

Categoría de vehículo	Velocidad del motor en la prueba [rpm]	nivel máximo [Db]
Buses, busetas, articulados.	De 1.500 a 2.500	85
Vehículos para carga mediana y pesada	De 1.500 a 2.500	88
Vehículos livianos.	De 2.500 a 3.500	81
Motocicletas o similares	De 4.000 a 5.000	86

Fuente: [39]

II. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Método

El estudio se fundamentó en la metodología exploratoria, un tipo de investigación que estudia un problema que no está claramente definido, y se lleva a cabo para comprenderlo mejor, pero sin proporcionar resultados concluyentes, se utiliza cuando el problema se encuentra en una fase preliminar. A menudo, se le llama enfoque de

teoría fundamentada o investigación interpretativa, porque responde las preguntas qué, por qué y cómo. [40]

Y una metodología analítica que es un proceso de investigación enfocado en la descomposición de un todo para determinar la naturaleza, causa y efecto de un estudio. Con este método se establecen resultados del estudio a un hecho o cosa en específica, se utiliza mucho en el área de las ciencias sociales y naturales. [41]

El estudio se basa en investigaciones bibliográficas y científicas además de estar fundamentado en pruebas de campo y laboratorio bajo la norma INEN 2665 Medición de ruido emitido por vehículos en aceleración (método de ensayo) y normativas internacionales como el Addendum 137: Reglamento de las Naciones Unidas No. 138 basada Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de transporte por carretera silenciosos en lo que respecta a su audibilidad reducida, las cuales se utilizaron como una herramienta para comparar los resultados y determinar los parámetros de seguridad de las personas no videntes. Por eso, para la realización de la investigación se basó en pruebas realizadas en el distrito metropolitano de Quito a un grupo de personas no videntes, guiados bajo búsquedas bibliográficas, normativas nacionales e internacionales anteriormente mencionadas, con el fin de poder determinar la incidencia del sonido de los vehículos eléctricos en este grupo de personas e identificar el decibel mínimo que los vehículos eléctricos tendrían para salvaguardar la vida de los peatones.

3.2 Materiales

3.2.1 Vehículo

Actualmente en Ecuador diversas marcas ofrecen vehículos eléctricos, para 2019 circulaban aproximadamente 391 y 20 unidades del modelo Soul Ev circulan en la ciudad de Loja. Por eso, para el estudio realizado, el vehículo eléctrico utilizado es el modelo Soul EV de la marca Kia,

este tipo de vehículo es uno de los siete más comercializados en Ecuador. [42]

Tabla 3. Ficha técnica Soul Kia EV

Ficha Técnica Kia Soul EV	
Potencia máxima	111 CV / 81,4 kW
Revoluciones potencia máxima	2.730 rpm
Par máximo	285 Nm
Velocidad máxima	145 km/h
Aceleración 0-100 km/h	11,2 s
Capacidad Batería	27 kWh
Tiempo de recarga total a 2,3 kW	14 h
Emisión de CO2 (gCO2/km)	0

Fuente: [43]

El vehículo Nissan leaf fue elegido para el estudio porque es un vehículo que ingresó al mercado ecuatoriano hace poco tiempo y es el primer vehículo de producción a gran escala en todo el mundo siendo, considerado como una solución y se convierte en el pionero para la movilidad eléctrica. [44]

Tabla 4. Ficha técnica Nissan Leaf

Ficha Técnica Nissan Leaf	
Potencia máxima	109 CV
Potencia máxima	80 kW/rpm
Par máximo	254 Nm/3.008 rpm
Velocidad máxima	135 km/h
Aceleración 0-100 km/h	13,5 s
Capacidad Batería	24 kWh - 0 kWh
Tiempo de recarga total a 2,3 kW	230 V/16A/24 - 6.5 h
Emisión de CO2 (gCO2/km)	0

Fuente: [45]

3.2.2 Normativa

Los límites de emisión según las regulaciones europeas entre un margen que va desde 56 dB hasta 75 dB que los vehículos eléctricos emiten, sin embargo, este tipo de vehículos no presentan

este margen de ruido emitido, están obligados según estudios a no ser silenciosos por la seguridad de las personas. [46] Sin embargo, internacionalmente se tomó en consideración que el Reglamento (UE) N. ° 540/2014 se aprobó en el Parlamento Europeo donde determina que todo vehículo eléctrico e híbrido a partir del 2014 deben tener una alerta acústica cuando circule a más de 20km/h, ya que los vehículos a partir del 2015 cuentan con el sistema AVAS para los vehículos eléctricos, sin embargo, la normativa de Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de transporte silencioso por carretera en lo que respecta a su audibilidad reducida establecida como el ECE Regulation No. 138 por Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas en la CEPE indica las condiciones de ruido que emite un vehículo eléctrico a partir del 2017.

Tabla 5. Requisitos mínimos de nivel de sonido en dB (A)

Frecuencia in Hz	Prueba de velocidad constante (10 kilómetros por hora)	Prueba de velocidad constante (20 kilómetros por hora)	Prueba de marcha atrás (Retro)
En general	50	56	47
1/3er Octava Banda	160	45	50
	200	44	49
	250	43	48
	315	44	50
	400	45	50
	500	45	51
	630	46	51
	800	46	51
	1.000	46	51
	1.250	46	51
	1.600	44	49
	2.000	42	47
	2.500	39	44
	3.150	36	41
	4.000	34	39
	5.000	31	36

Fuente: [38]

Sin embargo, los vehículos con nueva tecnología no deben sobrepasar 75 dB (A) a una distancia de 2m, ni 66 dB (A) a 7,5m ya que es un Acuerdo de 1958 establecido.

3.2.3 Equipo

El equipo utilizado para realizar las pruebas de campo es el tipo de sonómetro encargado de medir sonidos en un intervalo de audición humana bajo la normativa internacional IEC 61672 y se calibró con el sonido rosa o flicker conocido por ser un modelo presente en señales y ruido de origen fisiológico [47], por eso, la persona se posiciona a 1,50 m del vehículo y a una altura de 1,60 m del piso, ya que es la estatura media de una persona. Además, para las simulaciones de laboratorio se utilizará el programa Adobe Premiere Pro que permite la integración del sonido emitido por un vehículo eléctrico para la simulación, además, se utilizará la aplicación de sonómetro (Sound Meter) para comparar con las mediciones del sonómetro e identificar el decibel. [48]

3.2.4 Personas

El estudio se realizó en la ciudad de Quito, que actualmente cuenta con 8,892 personas discapacitadas. [49]

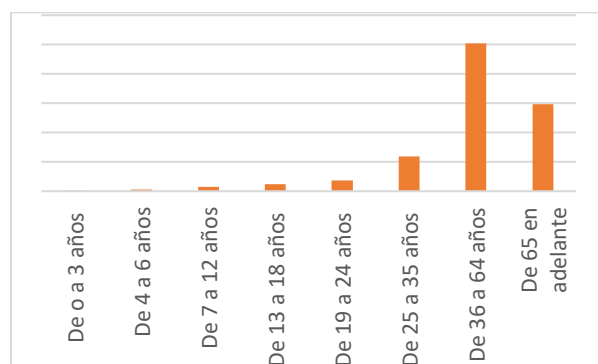


Figura 3. Personas con discapacidad visual en Quito.

Fuente: [49]

Como se observa en el gráfico N°6 el mayor porcentaje de personas con discapacidad visual se

encuentra entre los 36 y 64 años, es por esta razón, las pruebas se realizaron abarcando mayormente a dichas edades. Y de ese grupo se tomó en cuenta a las personas que son consideradas ciegas y legalmente ciegas, porque son las personas que menos visibilidad tienen y necesitan de un objeto que los ayude a identificar por donde se movilizan. Sin embargo, para las pruebas se tomó en consideración 3 personas dos de ellas son ciegas y la otra es legalmente ciega, es decir, presenta el 45° de ceguera, sin embargo, para las pruebas de laboratorio se tomó en consideración un grupo de 16 personas de una fundación que mediante el oído y las simulaciones permitieron el análisis.

3.2.5 Lugar

El estudio se basó en la ciudad de Quito donde existe mayor tráfico vehicular, según investigaciones de la USF afirman que en la zona norte, las vías de mayor tráfico son la Antonio José de Sucre, Av. la Amazonas, la 6 de Diciembre o la Naciones Unidas, ya que existe mayor movilidad y tráfico vehicular porque es un sector donde existe la movilización por las personas que laboran, además, el mapa que realizaron los estudiantes de dicha universidad indican que las horas críticas son de 7 a 9 de la mañana, al mediodía y de 6 de tarde a las 8 de noche. Por eso el horario establecido para la realización de las pruebas es al medio día.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para realizar las pruebas de campo, se tomó en consideración dos vehículos de diferentes fabricantes, en distintas ciudades y condiciones geográficas, sin embargo, es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros según la normativa INEN 2665 medición de ruido emitido por vehículos en aceleración, antes de realizar las pruebas.

Tabla 6. Parámetros para pruebas de campo

Velocidad del viento	5 m/s
Longitud de la pista	20 m

Ubicación del punto de medición	Mitad de la pista (10 m)
Altura del punto de medición	1,60 m
Distancia entre el vehículo y el punto de medición	1,50 m

Fuente: Autores

Los vehículos utilizados para el estudio se muestran a continuación, sin embargo, el vehículo Kia Soul Ev durante su fase de pruebas utilizó el sonido artificial del Renault Twixy,

Tabla 7. Vehículos utilizados en la investigación

Kia Soul EV	Vehículo 1
Kia Soul EV con sonido artificial	Vehículo 2
Nissan Leaf EV	Vehículo 3

Fuente: Autores

En el estudio se realizaron pruebas de campo a nivel nacional en la ciudad de Loja, dicha ciudad cuenta con una altura de 2060 m.s.n.m y se utilizó un vehículo Kia Soul EV 2016, el cual se comercializa en Ecuador hasta ese año de producción pero no cuenta con ningún tipo de sonido artificial, además, se realizaron pruebas internacionales en la ciudad de New Jersey - Estados Unidos, que tiene una altura promedio de 70 m.s.n.m y una máxima de 500 m.s.n.m y se utilizó un vehículo Nissan Leaf EV 2018 que posee un sonido artificial establecido por el fabricante, porque en dicho país existe el reglamento (UE) N° 540/2014 que especifica que todos los vehículos eléctricos deben emitir algún sonido.

4.1 Análisis a 10 km/h

Las pruebas de campo se efectuaron a distintas velocidades, porque se basan en el Reglamento (UE) N.º 540/2014, donde establece los parámetros para hacer las mediciones a 10km/h, 20km/h, en reversa y se adicionó a 50km/h que es

la velocidad promedio que circulan los vehículos a nivel nacional

Los vehículos en la primera fase de la prueba circularon sobre la pista con una velocidad de 10 km/h y la duración de la prueba fue de 7,5 s que se observa en el eje X (tiempo), mientras, en el eje Y (dB) muestra el nivel de decibel que emite el vehículo. En dicha fase, se sitúa un sonómetro en la mitad de la pista (10 m) que se estableció como el punto de medición.

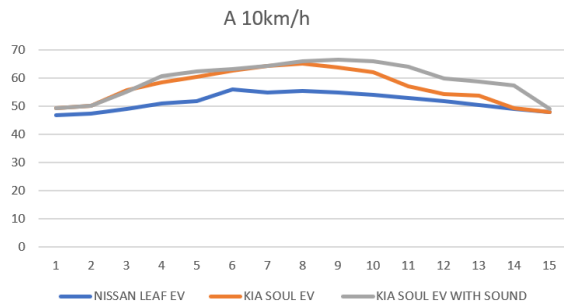


Figura 4. Niveles de decibeles a 10 km/h.

Fuente: Autores

En la gráfica se observa que los vehículos emiten un sonido similar, sin embargo, cuando el vehículo 2 (Kia Soul EV con sonido artificial) pasa por el punto de medición emite un valor máximo de 66,5 dB. Es decir, a pesar de ser un sonido perceptible al oído humano según los rangos de sonidos establecidos por la OMS, sin embargo, el sonido que se identifica en el sonómetro es mayormente emitido por la adherencia de los neumáticos con la calzada y además del ambiente externo, más no del sonido artificial emitido por el vehículo.

4.2 Análisis a 20 km/h

Para la segunda fase de la prueba circularon sobre la pista con una velocidad de 20 km/h y la duración de la prueba fue de 5,5 s que se observa en el eje X (tiempo), mientras, en el eje Y (dB) muestra el nivel de decibel que emite el vehículo. También en la segunda fase, se sitúa un sonómetro en la mitad de la pista (10 m) que se estableció como el punto de medición.

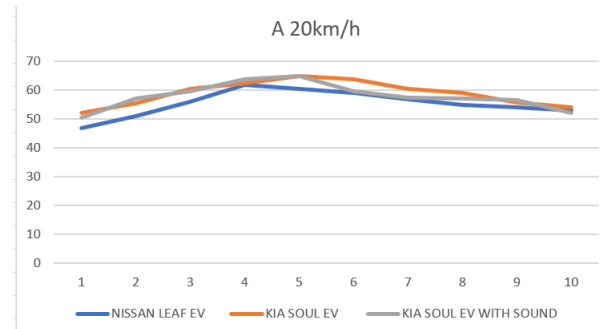


Figura 5. Niveles de decibeles emitidos a 20 km/h.

Fuente: Autores

En el gráfico número dos se observa una ligera diferencia entre los tres autos, pero el vehículo eléctrico con sonido artificial cuando cruzo el punto de medición marcó 64,90 dB al igual que el auto eléctrico. Por lo tanto, se identifican dos situaciones, la primera es que a pesar de que el vehículo 1 (Kia Soul EV) y el vehículo 2 (Kia Soul EV con sonido artificial) emiten mayor sonido en los datos obtenidos no es un sonido que es perceptible. Segundo, el sonido del vehículo 3 (Nissan Leaf EV) se identifica más rápido con respecto a los otros vehículos y mientras se va alejando del punto de medición su sonido disminuye progresivamente generando una mejor percepción ante el oído humano.

4.3 Análisis a 50 km/h

En la tercera fase de la prueba circularon sobre la pista con una velocidad de 50 km/h y la duración de la prueba fue de 3,5 s que se observa en el eje X (tiempo), mientras, en el eje Y (dB) muestra el nivel de decibel que emite el vehículo. También en la tercera fase, se sitúa un sonómetro en la mitad de la pista (10 m) que se estableció como el punto de medición.

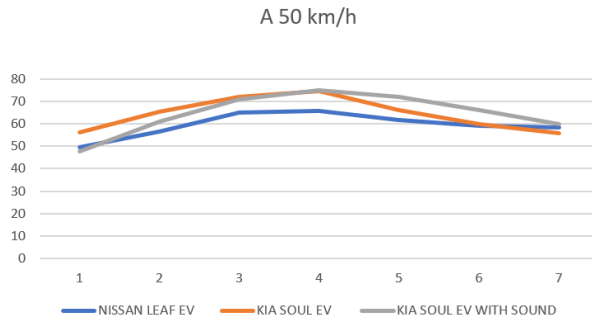


Figura 6. Niveles de decibeles emitidos a 50 km/h

Fuente: Autores

En el siguiente gráfico se observa que el vehículo 1 (Kia Soul EV) y el vehículo 2 (Kia Soul EV con sonido artificial) emiten un sonido máximo de 74,9 dB siendo este el mayor nivel emitido en las tres pruebas realizadas, pero esto se debe a que para la tercera fase los vehículos circularon en la pista con mayor velocidad. Por eso, al momento de cruzar el punto de medición el sonido emitido por los vehículos fue en su mayoría adherencia de neumáticos en la calzada, factores externos y la resistencia del vehículo respecto al viento.

4.4 Análisis a retro

Finalmente, en la fase de retro los vehículos circulan a una velocidad no más de 10 km/h, porque es una condición que la mayoría de los conductores utilizan al momento de estacionarse, por eso dicha prueba dura 7,5s indicado en el eje X (tiempo), mientras, en el eje Y (dB) muestra los decibeles que emiten los vehículos.

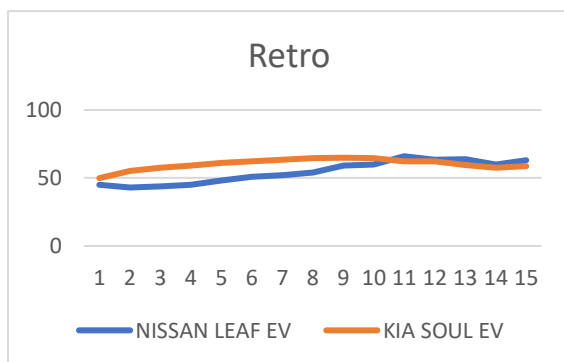


Figura 7. Niveles de decibeles emitidos en retro.

Fuente: Autores

En la prueba de retro, los dos vehículos cuentan con sonido de advertencia del fabricante cuando están en la condición de reversa. Sin embargo, el vehículo 2 (Kia Soul EV con sonido artificial) mantiene una curva casi constante durante su trayectoria, lo cual significa que el sonido del fabricante es constante durante su recorrido, aunque emite un nivel sonoro ligeramente superior al vehículo 3 (Nissan Leaf EV) y la diferencia entre estos es 1,1 dB.

4.5 Análisis de prueba de campo con personas con discapacidad visual

Dos personas con discapacidad visual participaron en las pruebas de campo realizadas en la ciudad de Loja (Tabla 6). Se realizó una simulación de las personas no videntes con la normativa nacional INEN 2665 con las condiciones mencionadas anteriormente, de tal manera, se tiene la percepción sin tráfico vehicular, sin embargo, el vehículo 3 (Nissan Leaf EV) no se tomó en consideración porque dicho vehículo no tiene planificado importarse a nivel nacional, por eso, se descarta la prueba de campo de manera internacional.

Tabla 8. Grado de discapacidad visual de las personas participantes en las pruebas de campo

Persona con discapacidad visual del 97%	Persona 1
Persona con discapacidad visual del 45%	Persona 2

Fuente: Autores

4.6 Discusión

Una vez finalizadas las fases de pruebas se observa que el vehículo 1 (Kia Soul EV) y el vehículo 2 (Kia Soul EV con sonido artificial) en todas las fases emiten mayor sonido según los datos obtenidos, por el contrario, el vehículo 3 (Nissan Leaf EV) a pesar de emitir un sonido artificial constante en las tres fases es menor a los

vehículos anteriormente mencionados, con la diferencia que es perceptible gracias al sonido constante, es decir, conforme el vehículo se va alejando, el sonido artificial se mantiene perceptible al oído humano, es decir, no tendrá picos de caída con respecto a otros sonidos artificiales. Adicionalmente, en las pruebas de campo realizadas con las personas no videntes en los vehículos 1 (Kia Soul EV) y 2 (Kia Soul EV con sonido artificial), estas identificaron ligeramente el sonido generado por la fricción de los neumáticos con la calzada, pero no lograron percibir ningún ruido adicional arrojado por el vehículo.

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo con el estudio realizado y los datos obtenidos, se conoce que los accidentes de tránsito que pueden generar los vehículos eléctricos por la carencia de sonido son un 35% mayor que los autos de convencionales. A pesar de ser un problema que no ha generado accidentes mortales en Ecuador con la ayuda de este estudio se demuestra que los vehículos eléctricos a importarse deben generar obligatoriamente un sonido artificial para hacer más fácil su identificación cuando están circulando. En las pruebas de campo realizadas en el estudio se identifica que el ruido generado por la adherencia de los neumáticos con la calzada y la resistencia del viento con el vehículo no es suficiente, porque estos sonidos no siempre están presentes debido a que dependen de otros factores como el material de la calzada, el peso del vehículo, la geografía del lugar, la velocidad del viento, entre otros. Y, además, son fáciles de confundir con cualquier ruido generado en un ambiente con contaminación acústica.

Las mediciones de los vehículos eléctricos no sobrepasan los niveles permitidos de ruido establecidos en la ciudad de Quito de 86 dB, sin embargo, según el reglamento de tránsito de Estados Unidos, sólo el vehículo 3 con sonido artificial de fabricante cumple los requisitos y no sobrepasa los 56 dB establecidos, pero no quiere

decir que el vehículo 1 (Kia Soul EV) y el vehículo 2 (Kia Soul EV con sonido artificial) sea más perceptible que el vehículo 3 (Nissan Leaf EV). En las pruebas de campo realizadas, cuando los vehículos circulan a 10 km/h, los vehículos 1 (Kia Soul EV) y 2 (Kia Soul EV con sonido artificial) emiten más sonido que el vehículo 3 (Nissan Leaf EV), sin embargo, son por factores externos como el pavimento, viento, sonido ambiental y el más primordial la adherencia de los neumáticos al suelo, en cambio, cuando en la prueba de 20 km/h el vehículo 3 tiene una curva progresiva, es decir corrobora que el sonido artificial del fabricante sigue siendo perceptible para el peatón. Además, cuando circulan a 50km/h, el tiempo de duración es menor por mayor velocidad, sin embargo, los tres vehículos mantienen una curva casi contante y llegan a tener un decibel alto porque existe la resistencia aerodinámica al avance y la fuerza del viento crea una mayor presión sonora, finalmente en las pruebas de campo de reversa ambos vehículos poseen sonidos del fabricante, lo cual confirma que todo sonido artificial creado por el fabricante anula los sonidos emitidos por el vehículo, es decir la adherencia del neumático al suelo o la fricción que genera el viento cuando circula el vehículo. Aunque, en las pruebas de laboratorio no sucede lo mismo, las personas no logran percibir ningún sonido emitido por el vehículo 1 (Kia Soul EV), en cambio con el vehículo 2 (Kia Soul EV con sonido artificial) reconocen un 75% cuando se menciona que tiene un sonido artificial pero el vehículo 3 (Nissan Leaf EV) es perceptible para las personas sin mayor esfuerzo al 100%. Por eso a pesar de que los datos obtenidos arrojan que los vehículos 1 (Kia Soul EV) y 2 (Kia Soul EV con sonido artificial) emiten mayor sonido, es un sonido que no es perceptible, además, que, si se está en un ambiente externo con contaminación acústica, dichos sonidos no se logran identificar fácilmente y se anulan por otros factores presentes.

Tras el análisis comparativo entre los vehículos eléctricos que tiene el Ecuador, con respecto a los que están regidos bajo una normativa de seguridad vial se concluye lo siguiente. Los vehículos eléctricos de Ecuador no generan ningún sonido artificial, lo cual los hace peligrosos para los peatones en especial para las personas que se guían mediante el oído, el único sonido que generan es la adherencia de los neumáticos con el suelo cuando están en circulación, pero este depende del material del suelo, sin embargo, es un sonido que se anula cuando se está en un ambiente con contaminación acústica y deja de ser perceptible. Por el contrario, los vehículos eléctricos de Estados Unidos tienen un sonido artificial que conforme avanza vehículo dicho sonido no se modifica ni se tergiversa, sino que es constante, y, además, es un sonido fácil de identificar sin importar el ruido que exista en el ambiente que se encuentre circulando el vehículo. Aquí se ve la importancia de generar un sonido que sea artificial para que no se confunda con los sonidos del exterior y de esta manera sea más perceptible para el peatón.

Bibliografía

- [«Total de personas con discapacidad 1 registradas en el registro nacional de] discapacidad,» Estadísticas de Discapacidad del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 29 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>.
- [M. Jarrín, «Discapacidad visual y autonomía 2 personal - Enfoque práctico de la] rehabilitación,» 24 Marzo 2011. [En línea]. Available: https://sid.usal.es/idocs/F8/FDO26230/discap_visual.pdf.
- [J. Camargo, L. Gonzalez y D. Segura, 3 «Orientación de pasajeros con discapacidad] visual dentro del sistema de transporte masivo Transmilenio, mediante geolocalización satelital,» *Ingeniería*, vol. XXII, n° 2, pp. 283-297, 10 Abril 2017.
- [J. Savoy, «Electric and hybrid cars putting 4 pedestrians at risk,» Monash University, 15] Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.monash.edu/muarc/news-and-events/articles/electric-and-hybrid-cars-putting-pedestrians-at-risk>. [Último acceso: 15 Octubre 2018].
- [M. C. Pardo-Ferreira, J. A. Torrecilla-García, 5 C. De las Heras-Rosas y J. C. Rubio-Romero,] «New Risk Situations Related to Low Noise from Electric Vehicles: Perception of Workers as Pedestrians and Other Vehicle Drivers,» 14 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7558663/>. [Último acceso: 14 Septiembre 2017].
- [M. Alfie Cohen y O. Salinas Castillo, «Ruido 6 en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad] caminable,» *Estudios demográficos y urbanos*, vol. XXXII, n° 1, pp. 1-28, 2017.
- [European Environment Agency, «Agencia 7 Europea de Medio Ambiente Vehículos] eléctricos en Europa Vehículos eléctricos en Europa,» 5 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1a4a941c-9a8d-11e6-9bca-01aa75ed71a1/language-en>.
- [M. Wikströma, L. Erikssonb y L. Hanssonc, 8 «Introducing plug-in electric vehicles in] public authorities,» *Science Direct*, vol. XXVIII, pp. 29-37, 29-37 Marzo 2016.

[European Blind Union, «Silent Cars And 9 Avias - Questions and Answers,» The voice of] blind and partially sighted people in Europe, 10 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <http://www.euroblind.org/silent-cars-and-avas-questions-and-answers>.

[NHTSA, «Incidence of Pedestrian and 1 Bicyclist Crashes by Hybrid Electric 0 Passenger,» Septiembre 2009. [En línea].] Available: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/811204>. [Último acceso: Septiembre 2009].

[M. PA, M. L, M. M, W. LK y M. J, 1 «Assessing the perceived safety risk from 1 quiet electric and hybrid vehicles to vision-] impaired pedestrians,» 2011. [En línea]. Available: [https://www.safetylit.org/citations/index.php?fuseaction=citations.viewdetails&citationIds\[\]=citjournalarticle_334821_9](https://www.safetylit.org/citations/index.php?fuseaction=citations.viewdetails&citationIds[]=citjournalarticle_334821_9).

[Y. Katsuya, S. Takaichi, H. Shin, T. Fumio y 1 T. Yuichiro, «Detectability and hearing 2 impression of additional warning sounds for] electric or hybrid vehicles,» Inter Noise, 16 Noviembre 2014. [En línea]. Available: https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/INTERNOISE2014/papers/p808.pdf. [Último acceso: 1 Enero 2014].

[A. Vladykoa, V. Elagina y G. Rogozinskya, 1 «Method of early pedestrian warning in 3 developing intelligent transportation system] infrastructure,» *Science Direct*, vol. L, pp. 708-715, 2020.

[M. Nasir Uddin, «Determination of Traffic 1 Induced Noise Pollution and its Impact on 4 City Dwellers in the Chittagong City Area,»] *European Scientific Journal March*, vol. XXIV, nº 8, p. 1857 – 7881, 2018.

[N. Misdariis y L.-F. Pardo, «The sound of 1 silence of electric vehicles – Issues and 5 answers,» 14 Febrero 2018. [En línea].] Available: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01708883/file/paper_Internoise17-v4.pdf. [Último acceso: Agosto 2017].

[S. Secinaro, V. Brescia, D. Calandra y P. 1 Biancone, «Employing bibliometric analysis 6 to identify suitable business models for] electric cars,» *Journal of Cleaner Production*, 18 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S095965262031550X?token=A9F4147DC5CDA8AE29C9438730CA2D1628F1274C6A2338F1E73B66ECE526F723EEF74BC691E4ED0CE5C247FEDA12A2A7&originRegion=us-east-1&originCreation=20210913223632>. [Último acceso: 14 Enero 2020].

[G. Mileva, A. Hastingsb y A. Al-Habaibeh, 1 «The environmental and financial 7 implications of expanding the use of electric] cars - A Case study of Scotland,» *Science Direct*, vol. II, nº 2, pp. 204-213, 2021.

[The Guide Dogs for the Blind Association, 1 «Safe and Sound,» The Guide Dogs for the 8 Blind Association, 2019. [En línea].] Available: <https://www.guidedogs.org.uk/how-you-can-help/campaigning/our-current-campaigns/safe-and-sound/>. [Último acceso: 2019].

[P. Poveda - Martinez, J. Ramis-Soriano y K. 1 Janssens, «Percepción Sonora de Vehiculos 9 Eléctricos,» *Revista acústica*, vol. 47, nº 3 y 4,] pp. 37-43, 2016.

[E. Altinsoy, «The detectability of 2 conventional, hybrid and electric vehicle 0 sounds,» 15 Septiembre 2013. [En línea].] Available: <https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/ias/aha/ressourc>

- en/dateien/professur/publikationen/Altinsoy2013c_-_The_Detectability_of_Conventional-Hybrid_and_Electric_Vehicle_Sounds_by_Sighted-Visually_Impaired_and_Blind_Pedestrians.pdf?lang=de. [Último acceso: 15 Septiembre 2013].
- [C. Egea García y A. Sarabia Sánchez, «Clasificaciones de la OMS sobre discapacidad,» Noviembre 2001. [En línea]. Available: http://ciapat.org/biblioteca/pdf/1002-Clasificaciones_de_la_OMS_sobre_discapacidad.pdf. [Último acceso: Noviembre 2001].
- [Comunidad de Madrid, «GUÍA PARA CONSEGUIR UNA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES INCLUSIVA EN LAS ORGANIZACIONES,» 2010. [En línea]. Available: http://www.madrid.org/cs/BlobServer?blobkey=id&blobwhere=1310853507259&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3DCONCEPTO+DE+DISCAPACIDAD_2.pdf&blobcol=urldata&blobtable=MungoBlobs. [Último acceso: 2008].
- [C. N. p. I. I. d. Discapacidades, «Estadísticas de discapacidad,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>.
- [A. C. González Saucedo, F. J. García Heredia y R. Ramírez Martínez, «Discapacidad visual,» *Culcyt/Educación*, vol. II, n° 51, pp. 198-200, 2010.
- [B. Codina Casals, «Diagnóstico e instrucción de los prerrequisitos en orientación y movilidad para deficientes visuales en edad preescolar,» *Revista sobre ceguera y deficiencia visual*, vol. I, n° 1, pp. 23-29, 1989.
- [S. I. Lopesa, J. M. Vieiraa, Ó. F. Lopesc, P. R. Rosaa y N. A. Dias, «MobiFree: A Set of Electronic Mobility Aids for the Blind,» *Science Direct*, vol. XXIV, n° 1, pp. 10-19, 2012.
- [M. Carreiras y B. Codina, «Cognición espacial, orientación y movilidad: 7 consideraciones sobre la ceguera,» *Revista sobre ceguera y deficiencia visual*, vol. I, n° 1, p. 62, 1993.
- [A. E. Vargas Soria, «SISTEMA EMBEBIDO DE MOVILIZACIÓN Y POSICIONAMIENTO PARA PERSONAS NO VIDENTES MEDIANTE HARDWARE LIBRE,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Febrero 2015. [En línea]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8653/1/Tesis_t974ec.pdf. [Último acceso: Febrero 2015].
- [R. C. Del Rocío Núñez López, D. Rivera Flores y J. Mocha Bonilla, «Empleabilidad en las personas no videntes,» *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, vol. II, n° 1, pp. 478-499, 2018.
- [M. S. Cuarán Guerrero, «Emprendimientos de personas invidentes: Resultados de vinculación con la sociedad,» *MKT Descubre*, vol. I, n° 13, pp. 12-22, 2019.
- [W. Erickson, C. Lee y S. Von Schrader, «Disability statistics from the 2011 American Community Survey,» Cornell University Employment and Disability Institute, 2012. [En línea]. Available: https://www.disabilitystatistics.org/StatusReports/2011-PDF/2011-StatusReport_US.pdf. [Último acceso: 2011].

[Brüel y S. Kjær, «Ruido ambiental,» 1 Agosto 3 2018. [En línea]. Available: 2 <https://www.bksv.com/media/doc/br1630.pdf>.] [Último acceso: 1 Agosto 2018].

[J. P. Álvarez Rodenbeek, Estudio 3 comparativo para modelos predictivos del 3 ruido de tráfico rodado, a través de] mediciones in situ en un sector de la ciudad de Osorno, Chile: Universidad Austral de Chile, 2010.

[M. Masum, S. Pal, A. Akhie, I. Ruva, N. 3 Akter y S. Nath, «Spatiotemporal monitoring 4 and assessment of noise pollution in an urban] setting,» Environmental Challenges, 5 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2667010021001979?token=18E52217A6075FBC11910D034A976BF78E2E19E41027C0D6467128E6E4062A185C1ADCFC67386ECFDF9ED01C713960B7&originRegion=us-east-1&originCreation=20210913222938>. [Último acceso: 12 Mayo 2021].

[G. A. Riquelme Lobos, «Estudio del ruido de 3 tráfico vehicular de la Avenida Ribera Norte 5 sector Industrial Talcahuano mediante] modelos de propagación,» 2007. [En línea]. Available: http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfci_r594e/sources/bmfci_r594e.pdf. [Último acceso: 2007].

[M. d. R. Aguirre Ojeda, «EVALUACIÓN DE 3 LA AFECTACIÓN AUDITIVA 6 PRODUCIDA POR LOS NIVELES DE] RUIDO EN UNA FÁBRICA DE HIELO ”,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/15899/1/EVALUACION%20DE%20LA%20AFECTACION%20AUDITIVA.pdf>. [Último acceso: Septiembre 2016].

[NTE INEN 2665, «MEDICIÓN DE RUIDO 3 EMITIDO POR VEHÍCULOS EN 7 ACELARACIÓN. MÉTODO DE ENSAYO,»] 2013. [En línea]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2665.pdf. [Último acceso: 2013].

[United Nations, «Uniform provisions 3 concerning the approval of Quiet Road 8 Transport Vehicles with regard to their] reduced audibility,» United Nations, 16 11 2017. [En línea]. Available: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2017/R138r1e.pdf>. [Último acceso: 29 6 2016].

[Municipio de Quito, «Ordenanza 3 Metropolitana 123,» 4 Julio 2016. [En línea]. 9 Available:] http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A%C3%91OS%20ANTERIORES/ORDM-123%20-%20RUIDO%20-%20MEDIO%20AMBIENTE.pdf. [Último acceso: 4 Julio 2016].

[M. E. Raffino, «Metodo Analítico,» 14 4 Agosto 2016. [En línea]. Available: 0 <https://concepto.de/metodo-analitico/>. [Último] acceso: 14 Agosto 2016].

[F. Arias, El Proyecto de Investigación, 4 Episteme: Madrid, 2008. 1]

[M. Pacheco, «105 autos eléctricos vendidos 4 en Ecuador desde enero del 2016,» El 2 comercio, 26 Junio 2017. [En línea].] Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/autos-electricos-venta-ecuador-economia.html>. [Último acceso: 2017 Junio 2017].

[Cooperativo KIA, «Ficha Técnica Kia Soul 4 EV 2018,» Kia, 2018. [En línea]. Available: [3https://www.kia.com/us/es/soul?chid=sem&ud=&CID=20253636&SID=4132975&PID=204425382&AID=404184913&CRD=0](https://www.kia.com/us/es/soul?chid=sem&ud=&CID=20253636&SID=4132975&PID=204425382&AID=404184913&CRD=0). [Último acceso: 2018].

[Automagazine, «El esperado Nissan LEAF, 4 100% eléctrico, llega a Ecuador,» 4 Automagazine, 29 4 2021. [En línea]. Available: <https://automagazine.ec/el-esperado-nissan-leaf-100-electrico-llega-a-ecuador/>.

[Cooperativo Nissan, «Ficha Técnica Nissan 4 Leaf Ev 2019,» 2019. [En línea]. Available: [5https://www.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/ec/fichas-tecnicas/2022/leaf.pdf](https://www.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/ec/fichas-tecnicas/2022/leaf.pdf). [Último acceso: 2019].

[F. Mocholí Belenguer, A. Martínez-Millana, 4 F. S. Castells Ramón y A. Mocholí-Salcedo, 6 «The Effectiveness of Alert Sounds for Electric Vehicles Based on Pedestrians' Perception,» *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, pp. 1-10, 15 Octubre 2020.

[J. Márquez Flores, *Curso Instrumentación y 4 Señale*, México: CCADET-UNAM, 2012. 7]

[R. Barti, «EL VEHICULO ELECTRICO Y 4 LA REDUCCION DEL RUIDO AMBIENTE 8 EN CIUDADES,» *EuroRegio*, pp. 1-10, 13] Junio 2016.

[Consejo Nacional para la Igualdad de 4 Discapacidades, «Estadísticas de 9 Discapacidad,» 29 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>. [Último acceso: 2019].

[M. E. Arias Roura, «Relaciones 5 interpersonales entre niños con discapacidad 0 visual y sus compañeros videntes en el] contexto educativo regular.,» 2010. [En línea]. Available: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2835/1/te4148.pdf>.

[J. A. Malla Buestán y F. A. Samaniego 5 Marca, «Desarrollo de un protocolo de 1 pruebas de funcionamiento para el vehículo] Fórmula SAE eléctrico 2017,» Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14915/1/UPS-CT007335.pdf>.

[NTE INEN 2666, «MEDICIÓN DE RUIDO 5 EMITIDO POR VEHÍCULOS EN ESTADO 2 MEDICIÓN DE RUIDO EMITIDO POR] VEHÍCULOS EN ESTADO,» Octubre 2013. [En línea]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2666.pdf.

[ISO 5130:2019, «Acoustics — Measurements 5 of sound pressure level emitted by stationary 3 road vehicles,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/74081.html>.

[K. Dávila, «Propesta de creación de 5 panoramaclíc portal web informativo para 4 personas con discapacidad visual en Quito.,»] Junio 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/9004/PANORAMACLIC%20PORTAL%20WEB%20PARA%20PERSONAS%20CON%20DISCAPACIDAD%20VISUAL%20EN%20QUITO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

[B. Berglund, T. Lindvall y D. H. Schwela, 5 «Guidelines for Community Noise,» World 5 Health Organization, Geneva, Marzo 1999.] [En línea]. Available: <https://www.nh.gov/osi/energy/programs/doc>

uments/sb99-who-guidelines-community-noise.pdf. [Último acceso: Marzo 1999].

[S. Zabaleta, «Laboratorio de condiciones de 5 trabajo,» Enero 2011. [En línea]. Available: 6 [https://esc-web-](https://esc-web-dev.s3.amazonaws.com/staging/documents/7863_ruido.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAWFY3NGTFNDEDHBGJ) 7 dev.s3.amazonaws.com/staging/documents/78 8 63_ruido.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAWFY 9 3NGTFNDEDHBGJ. [Último acceso: Enero 10 2011].

[A. Mohorte, «Obligar a los coches eléctricos a 5 hacer ruido es una buena idea: causan un 40% 6 más de accidentes,» Magnet, 2 Julio 2019.

] [En línea]. Available: 7 [https://magnet.xataka.com/en-diez-](https://magnet.xataka.com/en-diez-minutos/obligar-a-coches-electricos-a-hacer-ruido-buena-idea-causan-40-accidentes) 8 minutos/obligar-a-coches-electricos-a-hacer- 9 ruido-buena-idea-causan-40-accidentes. 10 [Último acceso: 2 Junio 2019].

6. ANEXOS

- ANEXO

Pruebas de laboratorio para personas con discapacidad visual.

Quito, 2021



**Incidencia de
sonido de vehículos
eléctricos**

- Michael Stiven Márquez
- Gianella Agila

Pruebas de laboratorio

UIDE
Universidad Internacional del Ecuador

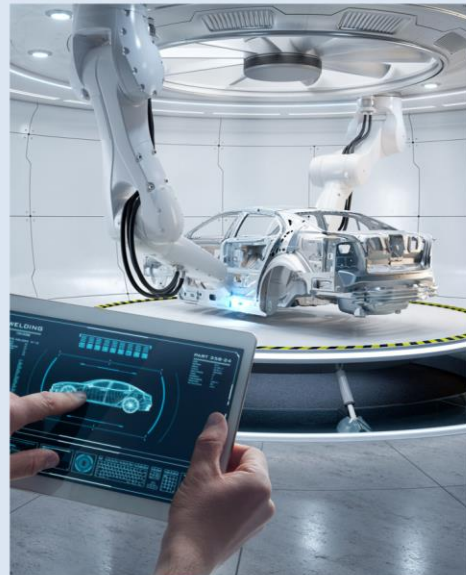
 FACULTAD DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

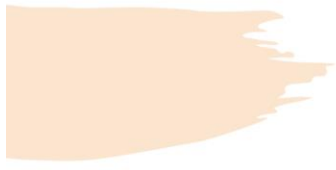
INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica es emitida por la actividad humana, está establecido que el 80% de ruido se debe a los vehículos a motor, el 10% a las industrias y el 4% a bares.

FASE I - PRUEBA DE LABORATORIO

1. Pruebas sin reconocimiento de los sonidos.





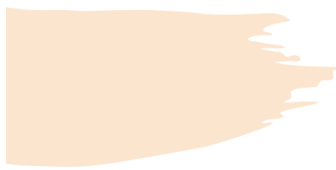
SONIDO 1



SONIDO 2



SONIDO 3



PREGUNTAS

PREGUNTA	PERSONA 1	PERSONA 2	PERSONA 3
1. ¿Logro identificar algún sonido diferente?	1. Voces 2. Trafico 3. Mas claros los sonidos	1. Voces y tráfico 2. Voces y tráfico 3. Diferencias de sonido	1. Trafico, voces, vendedores. 2. Mayor sonido 3. Mas claro, sonido particular
2. ¿Reconocen el vehículo eléctrico en el tráfico?	3	No	3

**FASE 2 –
RECONOCIMIENTO
DE SONIDOS**



Contaminación acústica de la ciudad



Sonido vehicular



Sonido artificial



FASE 3 - PRUEBA DE LABORATORIO

1. Pruebas con reconocimiento de sonido reales.



SONIDO 1



SONIDO 2



SONIDO 3



PREGUNTAS

PREGUNTA	PERSONA 1	PERSONA 2	PERSONA 3
¿Logra identificar el vehículo eléctrico en el sonido 1° o que sonido identifica?		NO	NO
¿Logra identificar el vehículo eléctrico en el sonido 2 o que sonido identifica?		NO	NO
¿Logra identificar el vehículo eléctrico en el sonido 3 o que sonido identifica?		SI	SI

PREGUNTAS FASE 3

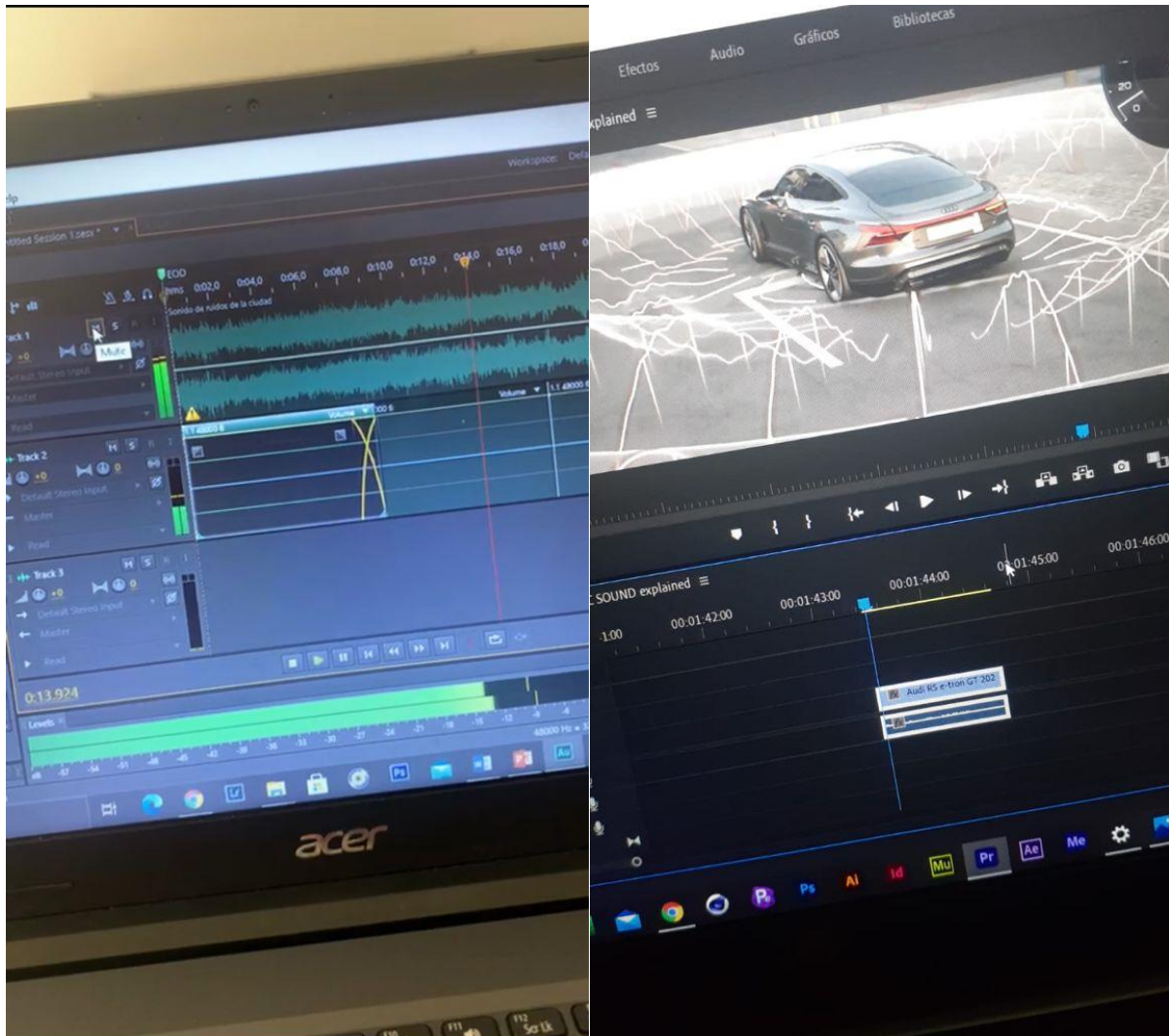
Responda cada pregunta según su criterio.

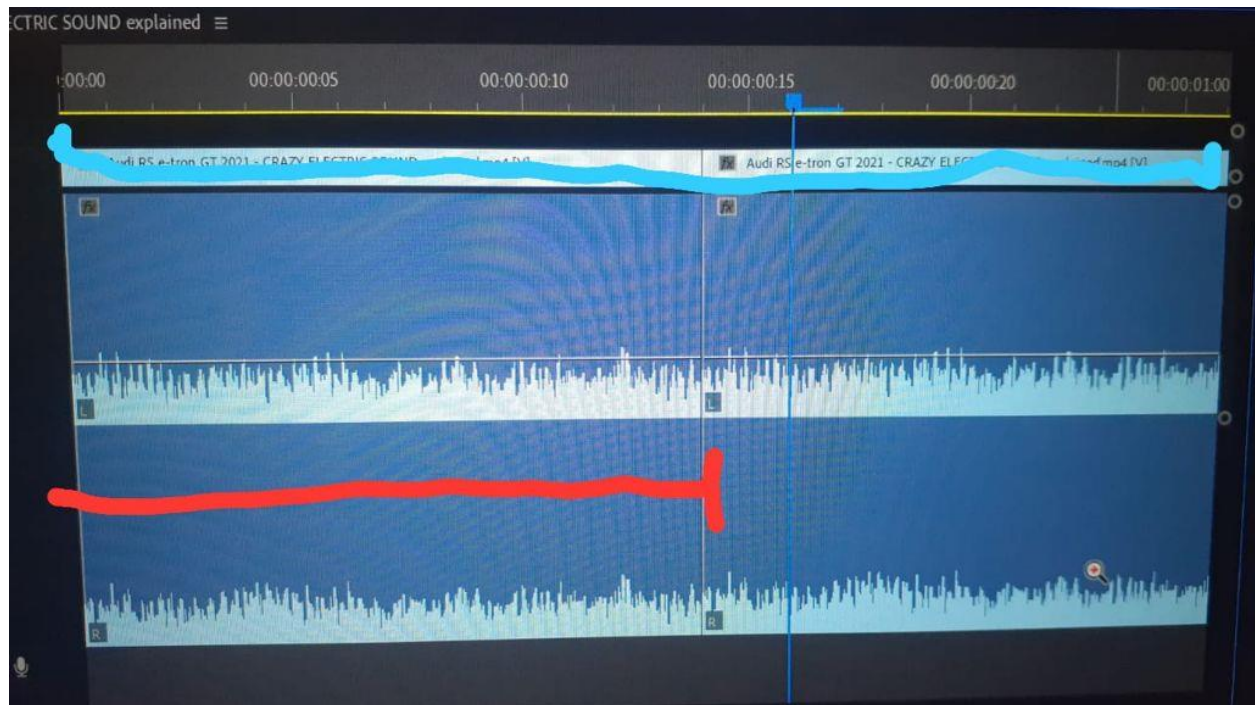
Nota: En las preguntas de calificar, califique tomando en cuenta que 10 es el valor máximo y 1 el mínimo

PREGUNTA	PERSONA 1	PERSONA 2	PERSONA 3
¿Logra reconocer algún vehículo eléctrico?	SI	SI	SI
¿En cuanto tiempo logro percibir el vehículo eléctrico?	5 segundos	2 O 3 segundos	3 Segundos
Del 1 al 10, ¿Que tan perceptible es el sonido de los vehículos eléctricos?	5	2	5

ANEXO

Calibración y montaje de sonidos mediante aplicación AUDITIONS





ANEXO

Protocolo para la realización de pruebas

Quito, 2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help


Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

N29

FASE 1: El vehículo eléctrico deberá permanecer estático sobre la calzada.				
NORMATIVA	ACTIVIDADES A REALIZAR	CUMPLE		
		SI	NO	
NTE INEN 2666	El medidor de nivel acústico o sistema de medición equivalente, incluido el protector de viento recomendado por el fabricante, debe cumplir mínimo con los requisitos establecidos para instrumentos Tipo 1, de acuerdo con la norma IEC 61672-1.	SI		
NTE INEN 2666	Al comienzo y al final de cada sesión de medición, el sistema de medición completo debe verificar por medio de un calibrador de sonido que cumpla los requisitos para calibradores de sonido Clase 1, de acuerdo con la norma IEC 60942. Sin ningún ajuste adicional, la diferencia entre las lecturas de dos verificaciones consecutivas debe ser inferior o igual a 0,5 dB. Si este valor excede, se deben descartar los resultados de las mediciones obtenidos después de la verificación satisfactoria previa.	SI		
NTE INEN 2666	La velocidad rotacional del motor se debe medir con un instrumento que cumpla los límites de especificación de mínimo de $\pm 2\%$ o superior, a las velocidades del motor requeridas para las mediciones que se llevan a cabo.	SI		
	Un sitio adecuado para el ensayo debe ser al aire libre y debe consistir en una superficie plana de concreto nivelado, asfalto denso o un material de dureza similar libre de nieve, grasa, tierra			

Para la prueba estacionaria se tomo en consideración los 3 metros de distancia del vehículo

FASE 1	
3 aceleraciones	
Medición 1	81,5
Medición 2	84,6
Medición 3	80,5
Promedio M	82,20



Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:14 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

N29

NTE INEN 2666	Un sitio adecuado para el ensayo debe ser al aire libre y debe consistir en una superficie plana de concreto nivelado, asfalto denso o un material de dureza similar libre de nieve, grasa, tierra suelta, cenizas u otro material absorbente de sonido. Debe estar en un espacio abierto libre de grandes superficies reflectivas, tales como vehículos parqueados, edificaciones, vallas publicitarias, árboles, matorrales, paredes paralelas, personas, etc., dentro de un radio de 3m de donde se encuentra ubicado el micrófono y cualquier punto del vehículo.	SI	
NTE INEN 2666	Los ensayos no se deben llevar a cabo si la velocidad del viento, incluidas las ráfagas de viento, excede 5 m/s durante el intervalo de medición de sonido.		NO
NTE INEN 2666	Las lecturas de los instrumentos de medición producidas por el ruido del ambiente y el viento deben estar al menos 10 dB por debajo del nivel de presión sonora ponderada A que se va medir. Se puede colocar al micrófono un protector de viento adecuado, siempre y cuando se tenga en cuenta su efecto sobre la sensibilidad del medidor de nivel de sonido.	SI	
NTE INEN 2666	Es esencial que las personas técnicamente entrenadas y con experiencia en las técnicas actuales de medición de sonido seleccionen la instrumentación y realicen el ensayo.	SI	
	Se debe aplicar la especificación de los fabricantes del instrumento		

Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:14 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
43	NTE INEN 2666	Se debe aplicar la especificación de los fabricantes del instrumento para la orientación del micrófono en relación con la fuente sonora, y la ubicación del observador en relación con el micrófono. El ensayo se puede llevar a cabo con un medidor de nivel de sonido o micrófono en un soporte, para darle estabilidad; véase el numeral 9. Cuando sea posible, se recomienda usar un cable de extensión del micrófono, y los dispositivos de medición o registro se deberían colocar retirados del micrófono.	SI							
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
51	NTE INEN 2666	La transmisión del vehículo debe estar en posición neutra y el embrague debe estar libre, o en posición de parqueo en el caso de transmisión automática; el freno de parqueo debe estar accionado por seguridad.	SI							
52										
53	NTE INEN 2666	Si el vehículo está equipado con aire acondicionado, éste debe estar apagado	SI							
54										
55										
56										
57	NTE INEN 2666	Si el vehículo posee ventiladores(es) que tienen un mecanismo de accionamiento automático, este sistema no debe interferir durante las mediciones del nivel de presión sonora.	SI							
58										
59										
60	NTE INEN 2666	La cubierta (capó) del motor debe estar cerrada.	SI							
61										
62	NTE INEN 2666	Antes de cada serie de mediciones se debe llevar el motor a su temperatura normal de operación, según lo especificado por el fabricante.	SI							
63										
64										

Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:15 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
64	NTE INEN 2666	El micrófono debe estar localizado a una distancia de 0,5 m ± 0,01 m del punto de referencia del tubo de escape, según se define en la Figura 1, y a un ángulo de 45° ± 5° en relación con el plano vertical que contiene el eje de flujo de la terminación del tubo. El micrófono debe estar a la altura del punto de referencia, pero no a menos de 0,2 m de la superficie del suelo. El eje de referencia del micrófono debe alinearse en un plano paralelo a la superficie del suelo y debe estar direccionado hacia el punto de referencia sobre la salida del tubo de escape.	SI							
65										
66										
67										
68										
69										
70										
71										
72										
73	NTE INEN 2666	75% de la velocidad nominal del motor, S, para vehículos con S ≤ 5000 min ⁻¹ (5000 rpm).	SI							
74										
75	NTE INEN 2666	3750 min ⁻¹ para vehículos con una velocidad nominal del motor de 5000 < S < 7500 min ⁻¹ (7500 rpm)	SI							
76										
77	NTE INEN 2666	50% de la velocidad nominal del motor, S, para vehículos con S ≤ 7500 min ⁻¹ (7500 rpm), con una tolerancia del 5%.	SI							
78										
79	NTE INEN 2666	La velocidad del motor se debe incrementar de manera gradual desde ralenti hasta la velocidad objetivo del motor, manteniéndola constante y sin exceder la banda de tolerancia indicada en el numeral 5.4.2 y/o 5.4.3. A continuación, el control de estrangulación se debe liberar rápidamente y la velocidad del motor debe retornar a ralenti. El nivel de presión sonora se debe medir durante un periodo de al menos 1 s a la velocidad constante	SI							
80										
81										
82										
83										
84										
85										

Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:15 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
88										
89	NTE INEN 2666	El máximo nivel de presión sonora ponderada A indicado durante el ensayo se debe registrar y redondear matemáticamente a la primera cifra significativa antes del lugar decimal (por ejemplo, 92,4 se debe redondear a 92, mientras que 92,5 se debe redondear	SI							
90										
91										
92	NTE INEN 2666	El ensayo se debe repetir hasta obtener tres mediciones consecutivas dentro de 2 dB entre sí, en cada salida.	SI							
93										
94	NTE INEN 2666	El resultado para una salida dada es el promedio aritmético de las tres mediciones válidas, redondeadas matemáticamente como ya se indicó, y se debe reportar como el nivel de presión sonora ponderada A, LArep, como se indica en la ecuación (1):	SI							
95										
96										
97										
98										
99	Ordenanza Metropolitana 123 Art. 26	Identificar si el nivel de decibel emitido no sobrepase los 81 decibeles determinados en el DMQ.		NO						
100										
101										
102										
103	FASE 2: El vehículo eléctrico deberá circular a 10 km/h.									
104	NORMATIVA	ACTIVIDADES A REALIZAR	CUMPLE							
105			SI	NO						
106	NTE INEN 2665	El medidor de nivel de sonido (o sistema de medición equivalente), deben cumplir mínimo con los requisitos establecidos para instrumentos Tipo 1, de acuerdo con la norma IEC 651.	SI							

Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:15 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
103	FASE 2: El vehículo eléctrico deberá circular a 10 km/h.									
104	NORMATIVA	ACTIVIDADES A REALIZAR	CUMPLE							
105			SI	NO						
106	NTE INEN 2665	El medidor de nivel de sonido (o sistema de medición equivalente), deben cumplir mínimo con los requisitos establecidos para instrumentos Tipo 1, de acuerdo con la norma IEC 651.	SI							
107	NTE INEN 2665	Las mediciones se deben llevar a cabo usando la ponderación de frecuencia "A", y la característica de valoración de tiempo F	SI							
108										
109	NTE INEN 2665	La calibración del medidor de nivel de sonido se debe verificar y ajustar de acuerdo con las instrucciones del fabricante, o con una fuente de sonido estándar (por ejemplo un pistófono) al comenzar las mediciones; luego se debe revisar nuevamente y registrar al final de éstas. Cualquier desviación se debe registrar en el informe	SI							
110										
111	NTE INEN 2665	La velocidad de rotación del motor y la velocidad del vehículo en carretera durante el procedimiento, deben medirse con una precisión de 3% o mejor.	SI							
112										
113	NTE INEN 2665	La velocidad de rotación del motor y la velocidad del vehículo en carretera durante el procedimiento, deben medirse con una precisión de 3% o mejor.	SI							
114										
115	NTE INEN 2665	El sitio para el ensayo debe estar nivelado. La superficie de la pista debe estar seca y su textura debe ser tal, que no cause ruido excesivo de las llantas. La superficie de la pista de ensayo debe cumplir los requisitos que indica la norma ISO 10844.	SI							
116										
117	NTE INEN 2665	El sitio de ensayo debe ser tal que, cuando una pequeña fuente								
118										
119										
120										

Fase 2		
Cada 20km/h		
Min	Max	Considerado
37,7	59,6	59,6

Duración: 14s
 Ponderación de frecuencia: Z
 Calibración: 0,0 (dBZ)
 Dosis: 0,0 (%)
 TWA: -32,4 (dBZ)

Avg: 49,5
 Min: 37,7
 Max: 59,6
 Peak: 67,1


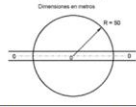
Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:16 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
121	NTE INEN 2665	El sitio de ensayo debe ser tal que, cuando una pequeña fuente omnidireccional de ruido, se coloque en su superficie en el punto O de la Figura 1, las desviaciones de la divergencia hemisférica no excedan ± 1 dB.	SI								
122											
123											
124											
125											
126											
127											
128	NTE INEN 2665	Esta dentro de un radio de 50 m alrededor del centro de la pista, el espacio debe estar libre de objetos reflectivos grandes, como cercas, rocas, puentes o edificios.	SI								
129	NTE INEN 2665	La superficie de la pista de ensayo, hasta donde se especifica en la norma ISO 10844, debe estar libre de cualquier absorbente, como polvo o ceniza	SI								
130	NTE INEN 2665	En el área al lado del micrófono, no debe haber obstáculos que puedan influir en el campo acústico y ninguna persona debe permanecer entre el micrófono y la fuente de ruido.	SI								
131	NTE INEN 2665	El observador del medidor debe estar ubicado donde no influya en la lectura del medidor.	SI								
132	NTE INEN 2665	Las mediciones no se deben realizar bajo condiciones	SI								
133	NTE INFN 2665										

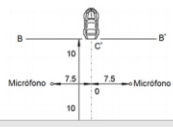
Hoja1

28°C 22:16 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
137	NTE INEN 2665	El observador del medidor debe estar ubicado donde no influya en la lectura del medidor.	SI							
138	NTE INEN 2665	Las mediciones no se deben realizar bajo condiciones meteorológicas adversas.	SI							
139	NTE INEN 2665	Las mediciones no se deben realizar si el viento es tempestuoso.								
140	NTE INEN 2665	Se recomienda que los ensayos no se realicen si la velocidad del viento excede los 5 m/s a la altura del micrófono.		NO						
141	NTE INEN 2665	El ruido de fondo, (incluyendo cualquier ruido del viento) debe ser por lo menos 10 dB inferior al que produce el vehículo de ensayo.	SI							
142	NTE INEN 2665	El micrófono se debe colocar a $1,2 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ por encima del nivel del suelo. A menos que el fabricante indique otra cosa, el eje de referencia del medidor del nivel de ruido para condiciones de campo abierto (véase la norma IEC 651), debe ser horizontal y dirigido perpendicularmente hacia la trayectoria del vehículo (línea	SI							
143	NTE INEN 2665	se deben realizar al menos dos mediciones en cada lado del vehículo								
144	NTE INEN 2665		SI							
145										
146										
147										
148										
149										
150										
151										
152										
153										
154										
155										
156										
157										
158										

Hoja1

Zoom level. Click to open the Zoom dialog box.

28°C 22:17 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

Calibri 11

General

Conditional Formatting Format as Table Cell Styles

Insert Delete Format

AutoSum Fill Clear

Sort & Find & Filter Select

Analyze Data

J110

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
188	NTE INEN 2665	Los vehículos sin selector manual se deben ensayar a varias velocidades uniformes de aproximación de 30 km/h, 40 km/h y 50 km/h (correspondientes a 19 millas/h, 25 millas/h y 31 millas/h respectivamente), o a 3/4 de la velocidad máxima en carretera, si su valor es menor. Se debe reportar la condición que produzca el máximo nivel de presión de sonido.	SI							
189										
190										
191										
192	NTE INEN 2665	El ensayo se debe realizar en la posición del selector que se utilice para conducción urbana. Se debe excluir el cambio de velocidad externo, (por ejemplo por pisar el pedal a fondo), así como el cambio automático para la primera relación para cajas de velocidades que tengan más de 2 relaciones discretas.	SI							
194										
195	NTE INEN 2665	Si ocurre un cambio de velocidad automático después de la línea AA', el ensayo se debe rechazar y repetir, utilizando la posición N-1, N-2, etc., según sea necesario, hasta que el selector esté colocado en la posición más alta que permita realizar el ensayo sin desaceleración automática, excluyendo siempre las	SI							
199										
200	NTE INEN 2665	Si el vehículo tiene transmisión manual auxiliar, o eje multi- engranaje, se debe utilizar la posición para conducción urbana.	SI							
204										
205	ECE regulation N°138	Determinar si el número de decibel emitido por el vehículo se encuentra en el rango establecido según la normativa. Tabla 1 (Anexo)	SI							
206										
207	Ordenanza	Identificar si el nivel de decibel emitido no sobrepasa los 81								
208										
209										

Hoja1

Ready

Escribe aquí para buscar

28°C 22:17 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

Calibri 11

General

Conditional Formatting Format as Table Cell Styles

Insert Delete Format

AutoSum Fill Clear

Sort & Find & Filter Select

Analyze Data


F218

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
214	FASE 3: El vehículo eléctrico deberá circular a 20 km/h.									
215	NORMATIVA	ACTIVIDADES A REALIZAR	CUMPLE							
216			SI	NO						
217	NTE INEN 2665	El medidor de nivel de sonido (o sistema de medición equivalente), deben cumplir mínimo con los requisitos establecidos para instrumentos Tipo 1, de acuerdo con la norma IEC 651.	SI							
218	NTE INEN 2665	Las mediciones se deben llevar a cabo usando la ponderación de frecuencia "A", y la característica de valoración de tiempo F	SI							
219										
220	NTE INEN 2665	La calibración del medidor de nivel de sonido se debe verificar y ajustar de acuerdo con las instrucciones del fabricante, o con una fuente de sonido estándar (por ejemplo un pistófono) al comenzar las mediciones; luego se debe revisar nuevamente y registrar al final de éstas. Cualquier desviación se debe registrar en el informe	SI							
221										
222	NTE INEN 2665	La velocidad de rotación del motor y la velocidad del vehículo en carretera durante el procedimiento, deben medirse con una precisión de 3% o mejor.	SI							
223										
224	NTE INEN 2665	El sitio para el ensayo debe estar nivelado. La superficie de la pista debe estar seca y su textura debe ser tal, que no cause ruido excesivo de las llantas. La superficie de la pista de ensayo debe cumplir los requisitos que indica la norma ISO 10844.	SI							
225										
226	NTE INEN 2665	El sitio de ensayo debe ser tal que, cuando una pequeña fuente								
227										
228										
229										
230										
231										
232										

Fase 3
Cada 30 km/h

Min	Max	Considerado
36,4	55,9	55,9

Duración: 21s
Ponderación de frecuencia: Z
Calibración: 0,0 (dBZ)
Dosis: 0,0 (%)
TWA: -31,7 (dBZ)



Avg: 48,2
Min: 36,4
Max: 55,9
Peak: 57,3

Hoja1

Ready

Average: 49,4 Count: 8 Sum: 148,2

Escribe aquí para buscar


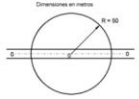
28°C 22:18 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing Analysis

F218 Fase 3

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
232	NTE INEN 2665	El sitio de ensayo debe ser tal que, cuando una pequeña fuente omnidireccional de ruido, se coloque en su superficie en el punto O de la Figura 1, las desviaciones de la divergencia hemisférica no excedan ± 1 dB.	SI								
233											
234											
235											
236											
237											
238											
239	NTE INEN 2665	Esta dentro de un radio de 50 m alrededor del centro de la pista, el espacio debe estar libre de objetos reflectivos grandes, como cercas, rocas, puentes o edificios.	SI								
240											
241											
242	NTE INEN 2665	La superficie de la pista de ensayo, hasta donde se especifica en la norma ISO 10844, debe estar libre de cualquier absorbente, como polvo o ceniza	SI								
243											
244											
245	NTE INEN 2665	En el área al lado del micrófono, no debe haber obstáculos que puedan influir en el campo acústico y ninguna persona debe permanecer entre el micrófono y la fuente de ruido.	SI								
246											
247											
248	NTE INEN 2665	El observador del medidor debe estar ubicado donde no influya en la lectura del medidor.	SI								
249											
250		Las mediciones no se deben realizar bajo condiciones									

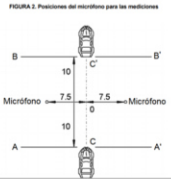
Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:18 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing Analysis

F218 Fase 3

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
250	NTE INEN 2665	Las mediciones no se deben realizar bajo condiciones meteorológicas adversas.	SI							
251										
252										
253	NTE INEN 2665	Las mediciones no se deben realizar si el viento es tempestuoso.								
254		Se recomienda que los ensayos no se realicen si la velocidad del viento excede los 5 m/s a la altura del micrófono.		NO						
255	NTE INEN 2665	El ruido de fondo, (incluyendo cualquier ruido del viento) debe ser por lo menos 10 dB inferior al que produce el vehículo de ensayo.	SI							
256										
257										
258	NTE INEN 2665	El micrófono se debe colocar a $1,2 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ por encima del nivel del suelo. A menos que el fabricante indique otra cosa, el eje de referencia del medidor del nivel de ruido para condiciones de campo abierto (véase la norma IEC 651), debe ser horizontal y dirigido perpendicularmente hacia la trayectoria del vehículo (línea	SI							
259										
260										
261										
262		se deben realizar al menos dos mediciones en cada lado del vehículo								
263										
264										
265										
266										
267	NTE INEN 2665		SI							
268										
269										
270										
271										

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:19 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

F218 Fase 3

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
262	Se deben realizar al menos dos mediciones en cada lado del vehículo								
263									
264									
265									
266									
267	NTE INEN 2665	SI							
268									
269									
270									
271									
272									
273	Se debe anotar el nivel de presión máxima del sonido indicado durante cada pasada del vehículo entre las dos líneas AA' y BB' (véase la Figura 2). Si se observa un sonido pico, que sea obviamente inusitado en relación con el nivel general de sonido, la medición se debe descartar.	SI							
274									
275	NTE INEN 2665	SI							
276									
277									
278	Los resultados se consideran válidos si la diferencia entre dos mediciones consecutivas, realizadas en el lado del vehículo que da el nivel más alto de presión de sonido, no exceda los 2 dB.	SI							
279	NTE INEN 2665	SI							
280									
281	Las mediciones se deben realizar en vehículos sin carga, excepto por el conductor y, excepto en el caso de vehículos no separables, sin trailer o semitrailer.	SI							
282	NTE INEN 2665	SI							
283									

Hoja1

Ready Average: 49,4 Count: 8 Sum: 148,2 22:19 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

F218 Fase 3

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
284	Las llantas del vehículo deben ser de tipo que normalmente entrega el fabricante y se deben inflar a la presión que él recomiende para el vehículo en su condición sin carga.	SI							
285	NTE INEN 2665	SI							
286									
287	Antes de iniciar las mediciones, el motor se debe colocar en sus condiciones normales de operación con respecto a la temperatura y revoluciones y debe tener el combustible, las bujías, etc., que recomiende el fabricante.	SI							
288	NTE INEN 2665	SI							
289									
290	Velocidad de aproximación: El vehículo se debe aproximar a la línea AA' a una velocidad uniforme, correspondiente a una de las siguientes: a) Una velocidad de rotación del motor igual a 3/4 de la velocidad n, a la cual el motor produce su máxima potencia neta; o	SI							
291	NTE INEN 2665	SI							
292									
293	3/4 de la velocidad máxima de rotación del motor que permita que el regulador, bajo condiciones de carga completa del motor;	SI							
294	NTE INEN 2665	SI							
295									
296	50 km/h (correspondientes a 31 millas/h), de ellas la que sea más baja	SI							
297	NTE INEN 2665	SI							
298	Los vehículos sin selector manual se deben ensayar a varias velocidades uniformes de aproximación de 30 km/h, 40 km/h y 50 km/h (correspondientes a 19 millas/h, 25 millas/h y 31 millas/h respectivamente), o a 3/4 de la velocidad máxima en carretera, si su valor es menor. Se debe reportar la condición que produzca el máximo nivel de presión de sonido.	SI							
299	NTE INEN 2665	SI							
300									
301									
302									
303									
304									
305	El ensayo se debe realizar en la posición del selector que se utilice								

Hoja1

Ready Average: 49,4 Count: 8 Sum: 148,2 22:20 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
305										
306										
307	NTE INEN 2665	El ensayo se debe realizar en la posición del selector que se utilice para conducción urbana. Se debe excluir el cambio de velocidad externo, (por ejemplo por pisar el pedal a fondo), así como el cambio automático para la primera relación para cajas de velocidades que tengan más de 2 relaciones discretas.	SI							
308										
309										
310										
311	NTE INEN 2665	Si ocurre un cambio de velocidad automático después de la línea AA', el ensayo se debe rechazar y repetir, utilizando la posición N-1, N-2, etc., según sea necesario, hasta que el selector esté colocado en la posición más alta que permita realizar el ensayo sin desaceleración automática, excluyendo siempre las	SI							
312										
313										
314										
315	NTE INEN 2665	Si el vehículo tiene transmisión manual auxiliar, o eje multi-engranaje, se debe utilizar la posición para conducción urbana.	SI							
316										
317	ECE regulation N°138	Determinar si el número de decibel emitido por el vehículo se encuentra en el rango establecido según la normativa. Tabla 1 (Anexo)	SI							
318										
319										
320	Ordenanza Metropolitana 123 Art. 26	Identificar si el nivel de decibel emitido no sobrepase los 81 decibeles determinados en el DMQ.	SI							
321										
322										
323										
324										
325										
326										

Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:20 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel


File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
327										
328	FASE 4: El vehículo eléctrico deberá circular a 50 km/h.									
329	NORMATIVA	ACTIVIDADES A REALIZAR	CUMPLE							
330			SI	NO						
331	NTE INEN 2665	El medidor de nivel de sonido (o sistema de medición equivalente), deben cumplir mínimo con los requisitos establecidos para instrumentos Tipo 1, de acuerdo con la norma IEC 651.	SI							
332										
333	NTE INEN 2665	Las mediciones se deben llevar a cabo usando la ponderación de frecuencia "A", y la característica de valoración de tiempo F	SI							
334										
335										
336	NTE INEN 2665	La calibración del medidor de nivel de sonido se debe verificar y ajustar de acuerdo con las instrucciones del fabricante, o con una fuente de sonido estándar (por ejemplo un pistófono) al comenzar las mediciones; luego se debe revisar nuevamente y registrar al final de éstas. Cualquier desviación se debe registrar en el informe	SI							
337										
338										
339	NTE INEN 2665	La velocidad de rotación del motor y la velocidad del vehículo en carretera durante el procedimiento, deben medirse con una precisión de 3% o mejor.	SI							
340										
341										
342	NTE INEN 2665	El sitio para el ensayo debe estar nivelado. La superficie de la pista debe estar seca y su textura debe ser tal, que no cause ruido excesivo de las llantas. La superficie de la pista de ensayo debe cumplir los requisitos que indica la norma ISO 10844.	SI							
343										
344										
345										

Fase 4		
Cada 40 km/ h		
Min	Max	Considerado
35,7	62,3	62,3

Duración: 17s
Ponderación de frecuencia: Z
Calibración: 0,0 (dBZ)
Dosis: 0,0 (%)
TWA: -27,0 (dBZ)



Avg: 51,8
Min: 35,7
Max: 62,3
Peak: 64,9


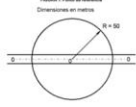
Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:22 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
346	NTE INEN 2665	El sitio de ensayo debe ser tal que, cuando una pequeña fuente omnidireccional de ruido, se coloque en su superficie en el punto O de la Figura 1, las desviaciones de la divergencia hemisférica no excedan ± 1 dB.	SI									
347												
348												
349												
350												
351												
352												
353	NTE INEN 2665	Esta dentro de un radio de 50 m alrededor del centro de la pista, el espacio debe estar libre de objetos reflectivos grandes, como cercas, rocas, puentes o edificios.	SI									
354												
355	NTE INEN 2665	La superficie de la pista de ensayo, hasta donde se especifica en la norma ISO 10844, debe estar libre de cualquier absorbente, como polvo o ceniza	SI									
356												
357	NTE INEN 2665	En el área al lado del micrófono, no debe haber obstáculos que puedan influir en el campo acústico y ninguna persona debe permanecer entre el micrófono y la fuente de ruido.	SI									
358												
359	NTE INEN 2665	El observador del medidor debe estar ubicado donde no influya en la lectura del medidor.	SI									
360												
361	NTE INEN 2665	Las mediciones no se deben realizar bajo condiciones										
362												
363												
364												

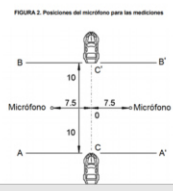
Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:22 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
364	NTE INEN 2665	Las mediciones no se deben realizar bajo condiciones meteorológicas adversas.	SI							
365										
366	NTE INEN 2665	Las mediciones no se deben realizar si el viento es tempestuoso.								
367		Se recomienda que los ensayos no se realicen si la velocidad del viento excede los 5 m/s a la altura del micrófono.		NO						
368										
369	NTE INEN 2665	El ruido de fondo, (incluyendo cualquier ruido del viento) debe ser por lo menos 10 dB inferior al que produce el vehículo de ensayo.	SI							
370										
371	NTE INEN 2665	El micrófono se debe colocar a $1,2 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ por encima del nivel del suelo. A menos que el fabricante indique otra cosa, el eje de referencia del medidor del nivel de ruido para condiciones de campo abierto (véase la norma IEC 651), debe ser horizontal y dirigido perpendicularmente hacia la trayectoria del vehículo (línea	SI							
372		se deben realizar al menos dos mediciones en cada lado del vehículo								
373										
374										
375										
376	NTE INEN 2665		SI							
377										
378										
379										
380										
381										
382										
383										
384										
385										

Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:22 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
376		Se deben realizar al menos dos mediciones en cada lado del vehículo								
377		<p>FIGURA 2. Posiciones del micrófono para las mediciones</p>								
378										
379										
380										
381	NTE INEN 2665			SI						
382										
383										
384										
385										
386										
387		Se debe anotar el nivel de presión máxima del sonido indicado durante cada pasada del vehículo entre las dos líneas AA' y BB' (véase la Figura 2). Si se observa un sonido pico, que sea obviamente inusitado en relación con el nivel general de sonido, la medición se debe descartar.								
388	NTE INEN 2665		SI							
389										
390										
391										
392		Los resultados se consideran válidos si la diferencia entre dos mediciones consecutivas, realizadas en el lado del vehículo que da el nivel más alto de presión de sonido, no exceda los 2 dB.								
393	NTE INEN 2665		SI							
394										
395		Las mediciones se deben realizar en vehículos sin carga, excepto por el conductor y, excepto en el caso de vehículos no separables, sin trailer o semitrailer.								
396	NTE INEN 2665		SI							
397										

Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:22 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help

Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
398		Las llantas del vehículo deben ser de tipo que normalmente entrega el fabricante y se deben inflar a la presión que él recomienda para el vehículo en su condición sin carga.								
399	NTE INEN 2665		SI							
400										
401		Antes de iniciar las mediciones, el motor se debe colocar en sus condiciones normales de operación con respecto a la temperatura y revoluciones y debe tener el combustible, las bujías, etc., que recomiende el fabricante.								
402	NTE INEN 2665		SI							
403										
404										
405		Velocidad de aproximación: El vehículo se debe aproximar a la línea AA' a una velocidad uniforme, correspondiente a una de las siguientes: a) Una velocidad de rotación del motor igual a 3/4 de la velocidad n, a la cual el motor produce su máxima potencia neta; o								
406	NTE INEN 2665		SI							
407										
408										
409										
410		3/4 de la velocidad máxima de rotación del motor que permita que el regulador, bajo condiciones de carga completa del motor;								
411	NTE INEN 2665		SI							
412		50 km/h (correspondientes a 31 millas/h), de ellas la que sea más baja								
413		Los vehículos sin selector manual se deben ensayar a varias velocidades uniformes de aproximación de 30 km/h, 40 km/h y 50 km/h (correspondientes a 19 millas/h, 25 millas/h y 31 millas/h respectivamente), o a 3/4 de la velocidad máxima en carretera, si su valor es menor. Se debe reportar la condición que produzca el máximo nivel de presión de sonido.								
414	NTE INEN 2665		SI							
415										
416										
417										
418										
419		El ensayo se debe realizar en la posición del selector que se utilice								

Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:23 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Search Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help


Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

K569

FASE 5: El vehículo eléctrico deberá circular en reversa.				
NORMATIVA	ACTIVIDADES A REALIZAR	CUMPLE		
		SI	NO	
NTE INEN 2665	El medidor de nivel de sonido (o sistema de medición equivalente), deben cumplir mínimo con los requisitos establecidos para instrumentos Tipo 1, de acuerdo con la norma IEC 651.	SI		
NTE INEN 2665	Las mediciones se deben llevar a cabo usando la ponderación de frecuencia "A", y la característica de valoración de tiempo F	SI		
NTE INEN 2665	La calibración del medidor de nivel de sonido se debe verificar y ajustar de acuerdo con las instrucciones del fabricante, o con una fuente de sonido estándar (por ejemplo un pistófono) al comenzar las mediciones; luego se debe revisar nuevamente y registrar al final de éstas. Cualquier desviación se debe registrar en el informe	SI		
NTE INEN 2665	La velocidad de rotación del motor y la velocidad del vehículo en carretera durante el procedimiento, deben medirse con una precisión de 3% o mejor.	SI		
NTE INEN 2665	El sitio para el ensayo debe estar nivelado. La superficie de la pista debe estar seca y su textura debe ser tal, que no cause ruido excesivo de las llantas. La superficie de la pista de ensayo debe cumplir los requisitos que indica la norma ISO 10844.	SI		
	El sitio de ensayo debe ser tal que, cuando una pequeña fuente			

Fase 6		
Retro		
Min	Max	Considerado
38,7	70,1	70,1

Duración: 9s
Ponderación de frecuencia: Z
Calibración: 0,0 (dBZ)
Dosis: 0,1 (%)
TWA: -18,7 (dBZ)



Avg: 59,5
Min: 38,7
Max: 70,1
Peak: 74,0

Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:24 15/7/2021

AutoSave Normativas desglosadas para pruebas - Excel Search Hugo Miño

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help


Clipboard Font Alignment Number Styles Editing Analysis

K569

FASE 5: El vehículo eléctrico deberá circular en reversa.				
NORMATIVA	ACTIVIDADES A REALIZAR	CUMPLE		
		SI	NO	
NTE INEN 2665	El medidor de nivel de sonido (o sistema de medición equivalente), deben cumplir mínimo con los requisitos establecidos para instrumentos Tipo 1, de acuerdo con la norma IEC 651.	SI		
NTE INEN 2665	Las mediciones se deben llevar a cabo usando la ponderación de frecuencia "A", y la característica de valoración de tiempo F	SI		
NTE INEN 2665	La calibración del medidor de nivel de sonido se debe verificar y ajustar de acuerdo con las instrucciones del fabricante, o con una fuente de sonido estándar (por ejemplo un pistófono) al comenzar las mediciones; luego se debe revisar nuevamente y registrar al final de éstas. Cualquier desviación se debe registrar en el informe	SI		
NTE INEN 2665	La velocidad de rotación del motor y la velocidad del vehículo en carretera durante el procedimiento, deben medirse con una precisión de 3% o mejor.	SI		
NTE INEN 2665	El sitio para el ensayo debe estar nivelado. La superficie de la pista debe estar seca y su textura debe ser tal, que no cause ruido excesivo de las llantas. La superficie de la pista de ensayo debe cumplir los requisitos que indica la norma ISO 10844.	SI		
	El sitio de ensayo debe ser tal que, cuando una pequeña fuente			

Fase 6		
Retro		
Min	Max	Considerado
38,7	70,1	70,1

Duración: 9s
Ponderación de frecuencia: Z
Calibración: 0,0 (dBZ)
Dosis: 0,1 (%)
TWA: -18,7 (dBZ)



Avg: 59,5
Min: 38,7
Max: 70,1
Peak: 74,0

Hoja1

Ready Escribe aquí para buscar 28°C 22:24 15/7/2021

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
627	NTE INEN 2665	3/4 de la velocidad máxima de rotación del motor que permita que el regulador, bajo condiciones de carga completa del motor;	SI							
628	NTE INEN 2665	50 km/h (correspondientes a 31 millas/h), de ellas la que sea más ba	SI							
629	NTE INEN 2665	Los vehículos sin selector manual se deben ensayar a varias velocidades uniformes de aproximación de 30 km/h, 40 km/h y 50 km/h (correspondientes a 19 millas/h, 25 millas/h y 31 millas/h respectivamente), o a 3/4 de la velocidad máxima en carretera, si su valor es menor. Se debe reportar la condición que produzca el máximo nivel de presión de sonido.	SI							
630	NTE INEN 2665	El ensayo se debe realizar en la posición del selector que se utilice para conducción urbana. Se debe excluir el cambio de velocidad externo, (por ejemplo por pisar el pedal a fondo), así como el cambio automático para la primera relación para cajas de velocidades que tengan más de 2 relaciones discretas.	SI							
631	NTE INEN 2665	Si ocurre un cambio de velocidad automático después de la línea AA', el ensayo se debe rechazar y repetir, utilizando la posición N-1, N-2, etc., según sea necesario, hasta que el selector esté colocado en la posición más alta que permita realizar el ensayo sin desaceleración automática, excluyendo siempre las	SI							
632	NTE INEN 2665	Si el vehículo tiene transmisión manual auxiliar, o eje multi- engranaje, se debe utilizar la posición para conducción urbana.	SI							
633	NTE INEN 2665	Identificar si el nivel de decibel emitido no sobrepase los 81								
634	Ordenanza									
635										
636										
637										
638										
639										
640										
641										
642										
643										
644										
645										
646										
647										
648										

ANEXO

Pruebas de laboratorio

Quito, 2021

<https://drive.google.com/drive/folders/10Tjg5644zv1->

[RJgVHHeOLmk6EJzR7sa7?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/10Tjg5644zv1-RJgVHHeOLmk6EJzR7sa7?usp=sharing)

ANEXO FOTOGRÁFICO

ANEXO

1.- Pruebas en SUBARU OUTBACK 2018



64 dB-A

5/06/2021 16:40

AVG: 72

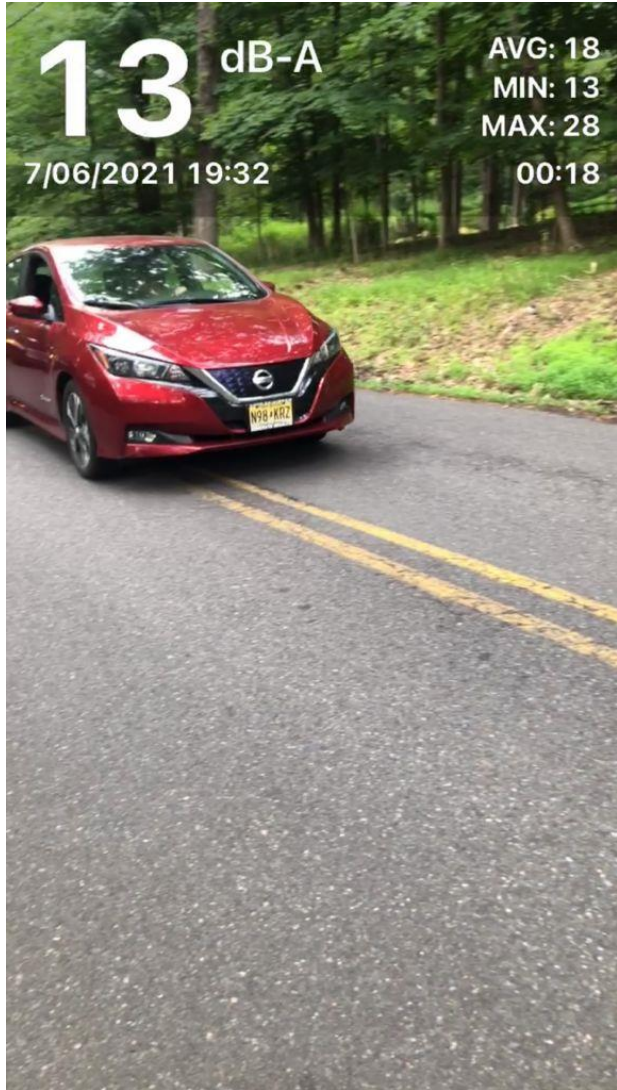
MIN: 55

MAX: 101

01:11



2.- Pruebas en Nissan Leaf 2019





3.- Pruebas Kia Soul EV





4.- Pruebas Kia Soul EV con sonido artificial







VEHÍCULO DE PRUEBA-ERROR TOYOTA RAV4 ELEÉCTRICO 2016

HOMOLOGADO EN ECUADOR



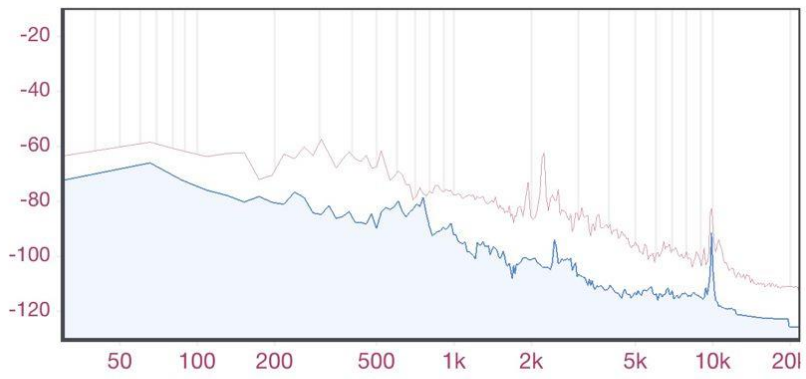




ANEXO

Prueba y error

SUBARU OUTBACK

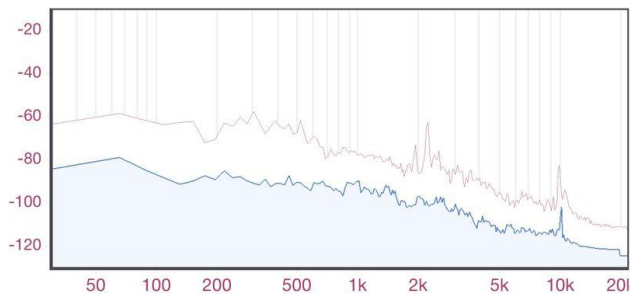
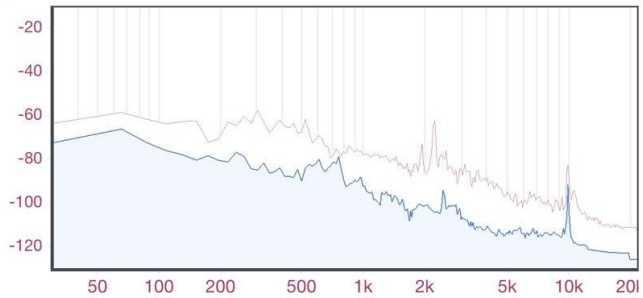


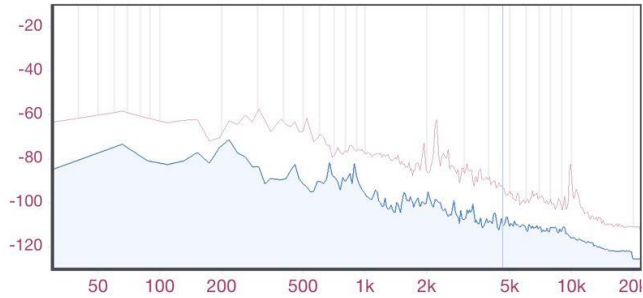
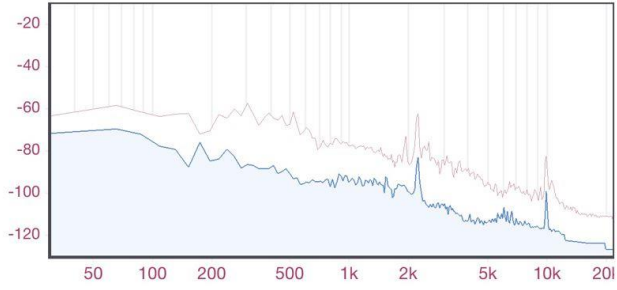
MIN 48 MAX 69 AVG 64

00:04

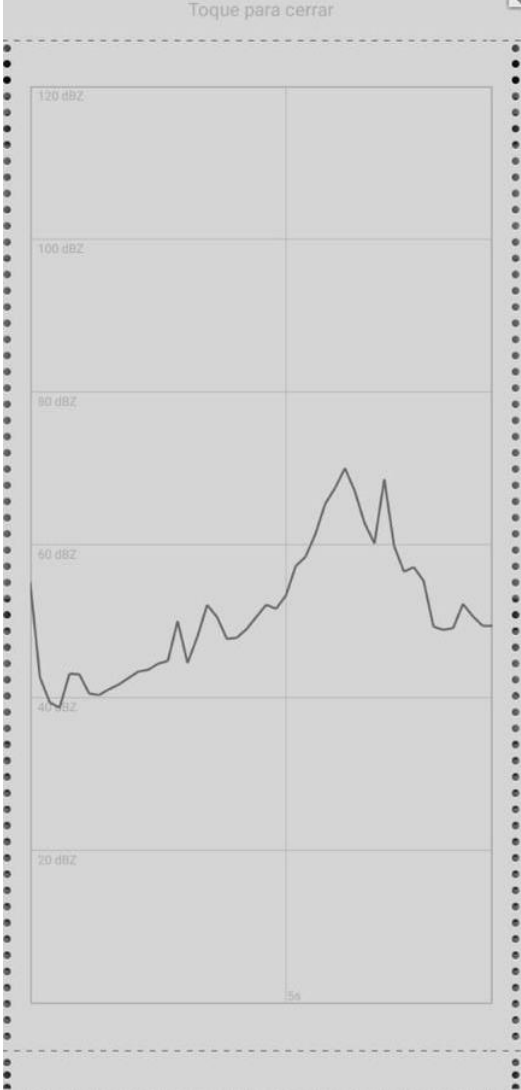
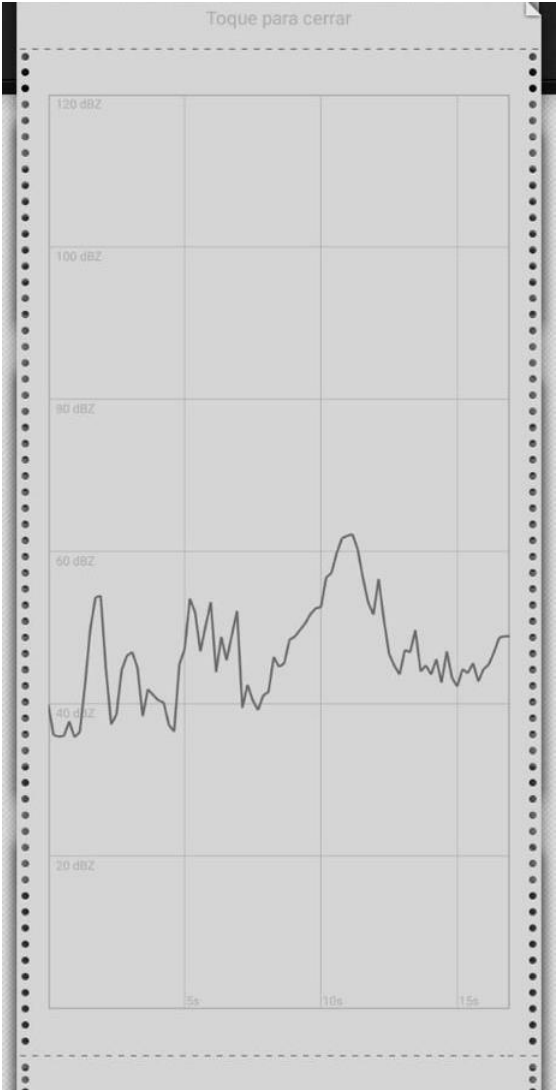
A control panel for the graph. On the left is a red play button icon. In the center is a horizontal slider bar with a grey track and a dark grey knob. On the right is a clock icon followed by the text '00:04'. Below the play button and slider are the labels 'MIN 48', 'MAX 69', and 'AVG 64' respectively.

Nissan Leaf





Kia Soul EV



[1] Nuevo nombre de la grabación 28, 2021

- Duración: 14s
- Ponderación de frecuencia: Z
- Calibración: 0,0 (dBZ)
- Dosis: 0,0 (%)
- TWA: -32,4 (dBZ)



Avg: 49,5
Min: 37,7
Max: 59,6
Peak: 67,1

[Deslice hacia la izquierda para ver más]

[3] Nuevo nombre de la grabación 28, 2021

- Duración: 9s
- Ponderación de frecuencia: Z
- Calibración: 0,0 (dBZ)
- Dosis: 0,1 (%)
- TWA: -18,7 (dBZ)



Avg: 59,5
Min: 38,7
Max: 70,1
Peak: 74,0

[Deslice hacia la izquierda para ver más]

[2] Nuevo nombre de la grabación 28, 2021

- Duración: 17s
- Ponderación de frecuencia: Z
- Calibración: 0,0 (dBZ)
- Dosis: 0,0 (%)
- TWA: -27,0 (dBZ)



Avg: 51,8
Min: 35,7
Max: 62,3
Peak: 64,9

[Deslice hacia la izquierda para ver más]

[4] Nuevo nombre de la grabación 28, 2021

- Duración: 21s
- Ponderación de frecuencia: Z
- Calibración: 0,0 (dBZ)
- Dosis: 0,0 (%)
- TWA: -31,7 (dBZ)



Avg: 48,2
Min: 36,4
Max: 55,9
Peak: 57,3

[Deslice hacia la izquierda para ver más]



[1] Nuevo nombre de la grabación 28, 2021

• Duración: 17s
• Ponderación de frecuencia: Z
• Calibración: 0,0 (dBZ)
• Dosis: 0,0 (%)
• TWA: -27,0 (dBZ)

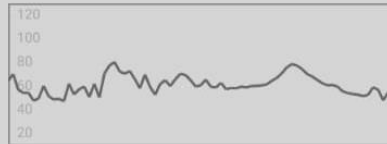


Avg: 51,8
Min: 35,7
Max: 62,3
Peak: 64,9

[Deslice hacia la izquierda para ver más]

[2] Nuevo nombre de la grabación 28, 2021

• Duración: 15s
• Ponderación de frecuencia: Z
• Calibración: 0,0 (dBZ)
• Dosis: 0,1 (%)
• TWA: -16,3 (dBZ)



Avg: 58,9
Min: 37,6
Max: 70,6
Peak: 76,4

[Deslice hacia la izquierda para ver más]

[3] Nuevo nombre de la grabación 28, 2021



inter noise

2013 | INNSBRUCK | AUSTRIA

15.-18. SEPTEMBER 2013

NOISE CONTROL FOR QUALITY OF LIFE

The detectability of conventional, hybrid and electric vehicle sounds by sighted, visually impaired and blind pedestrians

Ercan Altinsoy

Dresden University of Technology

Chair of Communication Acoustics

Helmholtzstr. 18

01062 Dresden, Germany

ABSTRACT

The timely detection of the vehicles by pedestrians is a prerequisite for road safety. In this study, the traffic condition in which a vehicle approaching to the pedestrian from 50 meter distance with partial load acceleration was investigated. The binaurally recorded sounds of 14 internal combustion engine cars, 4 hybrid cars, and 6 electric cars were presented to the visually impaired, blind and sighted participants. The criteria for the vehicle sound selection was to include broad spectral range with different temporal characteristics. The reaction

times of 37 subjects were measured. In the reaction time experiment, the subjects were asked to imagine that they are standing on the curb waiting to cross a one-way street when there may be vehicle approaching from the left. The results show that pedestrians detect the sound of electric vehicles (without sound generator) much later than the sound of vehicles with internal combustion engines and relatively few signal elements are used to detect the sound of internal combustion engine vehicles. Keywords: Electric Vehicle, Detectability, Blind

1. INTRODUCTION

Perception allows us to gather information regarding our environment using sensory inputs and to identify events and objects in this environment [1, 2]. Therefore, each sound can be regarded as information carrier. Vehicle noise is a combination of several sound sources, such as, combustion engine and its ancillary units, transmission system, exhaust system, etc. Its spectrum contains various time-dependent and time-independent tonal and broad band components. In the context of road safety, the vehicle sounds are useful for pedestrians to detect the vehicles. In addition to the detection, various vehicle sound properties may indicate the operating condition or the place of the vehicle. The results of an investigation of the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) show that hybrid vehicles cause more crashes than conventional vehicles [3]. The objective of this study is to compare the detectability of conventional, hybrid and electric vehicle sounds. Therefore a reaction time investigation was conducted.

2. EXPERIMENT

2.1 Travelling Situation

The traffic condition, which was investigated in this study, is that a pedestrian standing on the curb waiting to cross a one-way street when there may be vehicle approaching from the left. In this condition, a vehicle approaching to the pedestrian from 50 meter distance with partial load acceleration in the presence of an ambient (Figure 1).

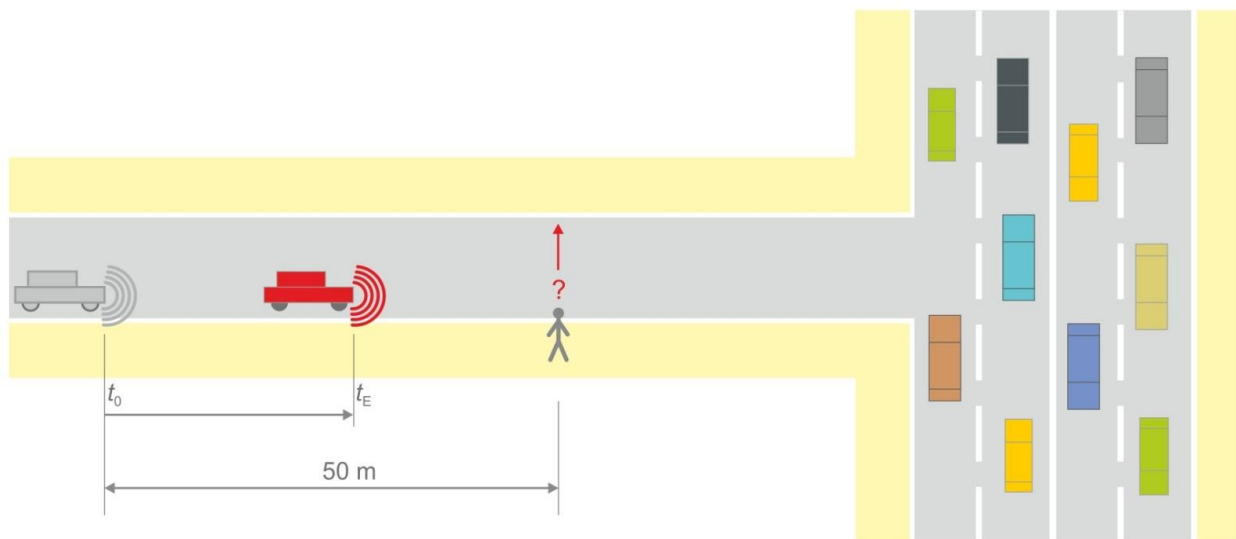


Figure 1 – Schematic representation of the investigated traffic condition

2.2 Stimuli

Several surrounding ambient noise level conditions were binaurally recorded and four of them (low, moderate, strong, very strong auditory masking), which are representative of many common urban ambient, were selected for the investigation. Although these ambient noises have a character of an ordinary road traffic noise, they don't consist of any

exceptional instationary events. The sound pressure levels of the ambient noise conditions are given in Table 1.

Table 1 – Ambient noise level conditions

Ambient	Sound pressure level in dB(A)
Low	45
Moderate	47
Strong	57
Very strong	59

In this study, the driving condition is that car approaches with partial load acceleration with shift-operation. The binaural recordings of fourteen internal combustion engine (ICE), four hybrid, and four electric vehicles in this driving condition were used in the experiments. The vehicles were selected from different brands with different motorization. Additional criteria for the selection of the vehicles were the broad spectral range with different temporal characteristics and the mixture of old and new cars. In addition to the vehicle sound recordings, two sounds, which are 7 dB quieter than the quietest ICE sound, were synthesized (Figure 2). Both synthesized sounds consist of three sweeps in two different frequency ranges and therefore they have fewer spectral components than ICE sounds.

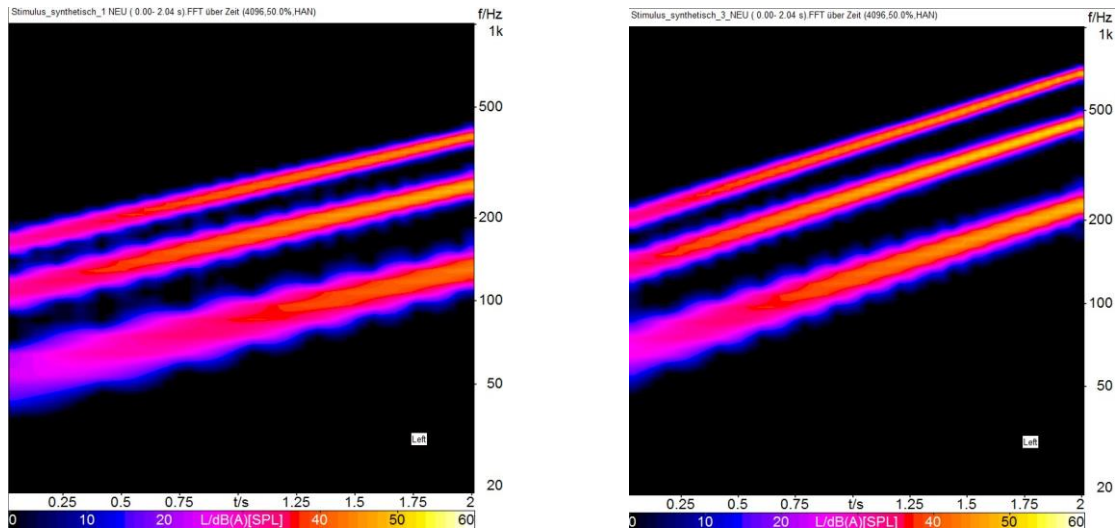


Figure 2 – The short-time Fourier transform (STFT)-based spectrograms of the synthesized sounds

2.3 Participants

Thirty-seven subjects, twenty-five men and twelve women aged between twenty and sixty-nine years (mean age: 34 years), participated in the experiment. Twenty-seven subjects are sighted and ten subjects are visually impaired or blind. All of the subjects were paid for their participation on an hourly basis.

2.4 Reaction time measurement

In this study, we examined the detection of vehicle sounds measuring the reaction time in presence of the ambient. Subjects were asked to imagine that they are standing on the curb waiting to cross a one-way street when there may be vehicle approaching from the left. They should to respond as quickly as possible by pressing a button, if they hear an approaching car. Presentations of the vehicle sounds followed each response with a random delay between 2 and 4s. Each sound was presented four times. The durations of the stimuli (accelerating

pass-bys) were approximately 5 seconds. The reaction time values for the very loud ambient were averaged, and the mean scores (with standard deviation) are shown in Figure 3.

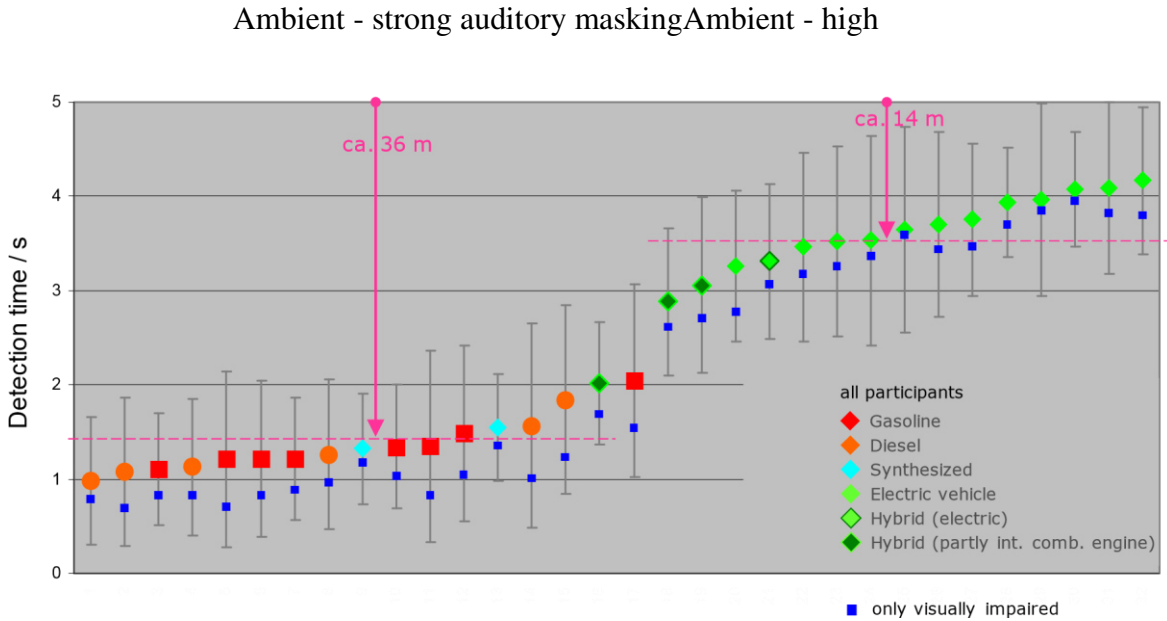


Figure 3 – Auditory reaction times to pass-by sounds of ICE, hybrid, and electric vehicles in the presence of loud ambience

The results show that pedestrians detect the sound of electric vehicles (without sound generator) much later than the sound of vehicles with internal combustion engines. While the sound of an internal combustion engine vehicle can already be detected at a distance of approximately 36 meters, the sound of an electric vehicle can be detected at a distance of approximately 14 meters. It is not observed a clear difference between the gasoline or diesel vehicles. The results of the visually impaired/blind participants show same trend with the

results of the sighted participants. The results of the study also revealed that synthesized sounds, which are approximately 7 dB quieter than quietest ICE sound, have similar reaction time values as ICE sounds.

The reaction time values for different ambient conditions are compared in Figure 4. The results revealed that the ambients can be splitted into two groups. The results of the very low and low auditory masking ambients show great similarities and the results of the high and very high auditory masking ambients show great similarities.

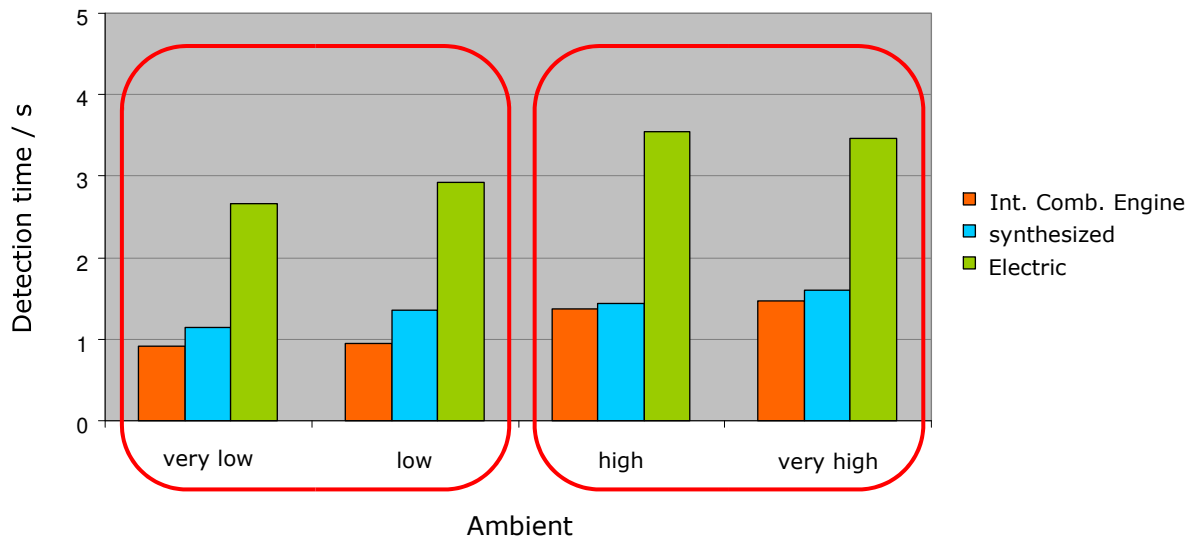


Figure 4 – The reaction times to vehicle sounds in the presence of four ambients

The comparison of the reaction time values with the detection sound pressure levels shows that there is no correlation between the reaction time of the pedestrians and the sound pressure level of the vehicle sound which is essential for the detection (Figure 5). Pass-by noises consist of various temporal and tonal properties, which may be useful for the detection.

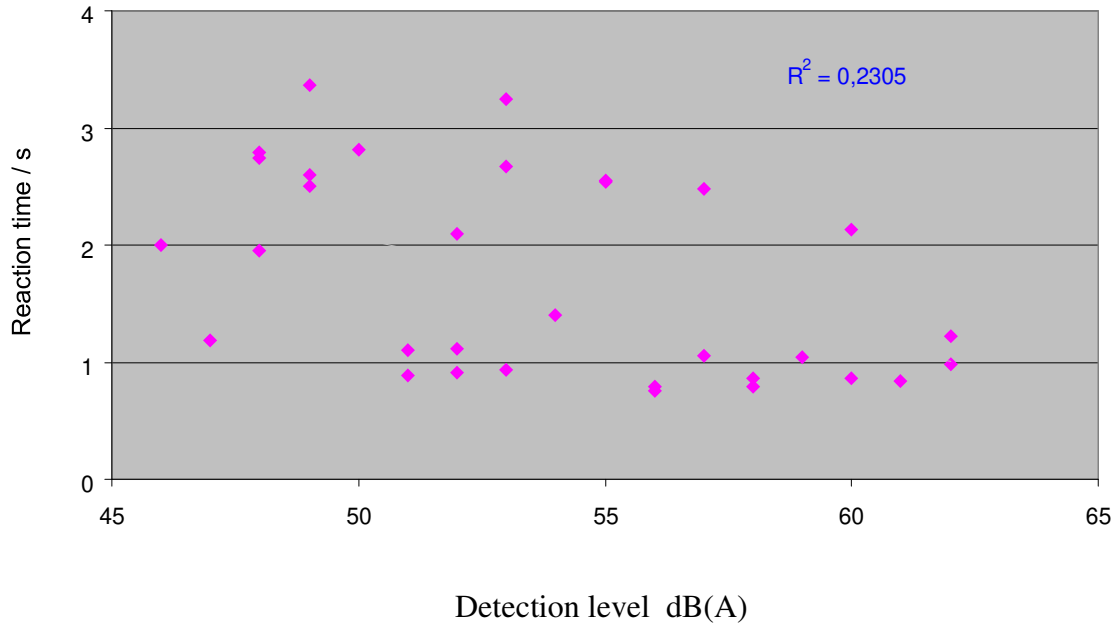


Figure 5 – Reaction time to vehicle sounds as a function of their detection level

Figure 6 shows one-third octave band spectra of fourteen ICE sounds (pink) and the strong auditory masking ambient (grey). For the one-third octave band analysis, the time period of 250 ms before and 250 ms after the detection was taken into account. The analysis results revealed that it is completely sufficient for detecting the sound of a vehicle from ambient, if individual one-third-octave bands (low or high frequencies) are prominent.

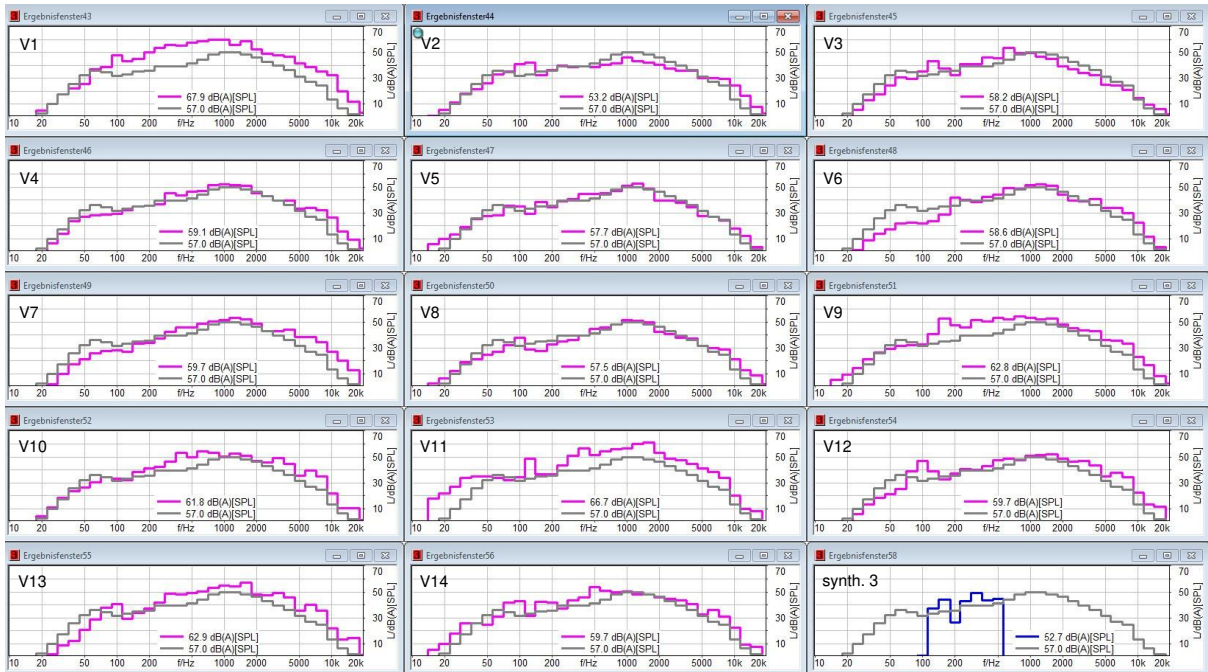


Figure 6 – One-third octave band analysis results of the ICE vehicle sounds and loud ambient

3. Conclusions

Pedestrians detect the sound of electric vehicles much later than the sound of vehicles with internal combustion engines. While the sound of an internal combustion engine vehicle can already be detected at a distance of approximately 36 meters, the sound of an electric vehicle can be detected at a distance of approximately 14 meters. There is no correlation between the reaction time of the pedestrians and the sound pressure level of the vehicle sound which is essential for the detection. It is completely sufficient for detecting the sound of a vehicle from ambient, if individual one-third-octave bands (low or high frequencies) are prominent. Synthetic sounds which are based on the engine speed can be detected as well as the sounds of internal combustion engine vehicle sounds.

ACKNOWLEDGEMENTS

This report is based on parts of the research project carried out at the request of the Federal Ministry for Transport, Construction and Town Planning, represented by the Federal Highway Research Institute, under research project No. 82.0578/2012. This work was partly supported by Research Association of Automotive Technology (FAT) of the German Association of the Automotive Industry (VDA). The author is solely responsible for the content.

REFERENCES

- [1] B. L. Giordano, *Sound Source Perception in Impact Sounds* (Ph.D. Thesis. University of Padova, Italy, 2005)
- [2] M. E. Altinsoy, “Knocking Sound as Quality Sign for Household Appliances and the Evaluation of the Audio-haptic Interaction,” in C. Magnusson, D. Szymczak, and S. Brewster (Eds.): *Haptic and Audio Interaction Design (HAID) 2012*, LNCS 7468, pp. 121–130, Berlin: Springer (2012).
- [3] R. Hanna, R. *Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles* (DOT HS 811 204, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, 2009)



Detectability and hearing impression of additional warning sounds for electric or hybrid vehicles

Katsuya YAMAUCHI¹; Takaichi SANO²; Shin HASEGAWA²; Fumio TAMURA²; Yuichiro TAKEDA²

1

Faculty of Engineering, Nagasaki University, Japan

2

Pioneer Corporation, Japan

ABSTRACT

Electric or hybrid electric vehicles (EVs/HEVs) have the advantages that they make lesser noise compared to conventional engine vehicles. This quietness is, however, a matter of concern for pedestrians because the sound of EVs/HEVs may be inaudible in urban backgrounds. Hence, the application of additional soundemitting device has been studied. Gathering wide range of acoustic knowledge on feasible design of the additional sounds is crucial for developing regulations or designing the device itself. Through the authors' researches, it has been revealed that the type of warning sounds significantly affected the required sound level as well as background levels. A warning sound stimulus, which had lesser loudness level, had lesser detectability. In this present study, the authors confirmed that the warning sounds could have similar detectability if they have similar loudness level. The frequency characteristics of the stimuli were varied while having equivalent powers in each 1/3 octave band so that they shall have equivalent loudness level. Moreover, the hearing impression of the stimuli were examined.

¹ yamauchi@cis.nagasaki-u.ac.jp

The results showed that the impression of warning sounds could be varied while having equal detectability.

Keywords: Detectability, Impression, Additional Warning Sounds,

EV/HEV I-INCE Classification of Subjects Number(s): 11.9.9, 13.2.1,

63.1

1. INTRODUCTION

Electric or hybrid electric vehicles (EVs/HEVs) are comparatively quieter than conventional internal combustion engine vehicles (ICEVs), especially when they are driven at low speeds.

The number of EVs/HEVs is expected to increase considering social demands for the reduction of greenhouse gases and the establishment of a low-carbon society. In some major countries such as Japan, United States, and Germany, policies to promote the use of EVs/HEVs are being introduced.

The reduced noise is beneficial in environments with higher levels of road traffic noise. These quiet vehicles can be regarded as one of the goals of the noise reduction drive of modern society. However, quiet vehicles are potentially dangerous to pedestrians when the approach of such vehicle becomes inaudible against background noise. According to the report of the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), United States(1), EVs/HEVs are nearly twice as likely as ICEVs to be involved in accidents involving pedestrians. This is of particular concern to the blind community. The National Federation of the Blind and the World Blind Union have expressed their concerns and requested the development of a regulation requiring automobiles to emit a minimum level of sound to alert blind and other pedestrians(2).

Toward solving these problems, regulations and recommendations mandating or recommending the installation of additional sound-emitting devices in quiet vehicles have been discussed by various governments(3). The Japanese Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) has announced a guideline regarding the quietness problem(4). The guideline states that a warning sound should be automatically emitted when the vehicle is driven at a speed of less than 20 km/h, the sound should be continuous and evoke the running condition of a vehicle, and its sound level should not exceed that of an ICEV running at a speed of 20 km/h. The Quiet Road Transport Vehicles (QRTV) Work Group, which was established by UN/ECE/WP.29/GRB (Group of Experts on Vehicle Noise, World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations, United Nations Working Party 29), has approved an international guideline(5) that is basically similar to that of the Japanese MLIT. The QRTV is also developing a global technical regulation (GTR) regarding the requirements for sound-emitting devices. In the United States, the Pedestrian Safety Enhancement Act of 2010 has been approved, which mandates the NHTSA to establish performance requirements for alert sounds that would enable blind and other pedestrians to be reasonably aware of nearby EVs/HEVs. The automobile industry has also been working on the development of sound-emitting devices and the design of the actual sound itself. Indeed, some automobile manufacturers have launched warning systems for their EVs/HEVs (*e.g.*, (6)).

To design the sound itself or to discuss its implications for the community, it is crucial to know the feasible sound design for the warning sounds(3). The sound shall have the property that makes pedestrians easy to detect them. On the opposite side, an easily detectable sound might

be an unpleasant one also. It is expected to develop a feasible sound design that is easy to listen to in urban sound environment but also not too uncomfortable.

To make sure of pedestrians awareness of the warning sound under various environmental noise, the design using sensitive frequencies on human hearing system is expected to be an effective solution. In the frequency range between 2 and 5 kHz, human hearing system usually exhibits very sensitive. On the other hand, from the view-point of frequency masking, the frequency range that is often observed in assumed applicable situation shall be avoided. It would seem that road traffic noise, that usually has the prominent frequency around 1 kHz, is one of the most considerable maskers. Hence, there are some kind of design strategies which intend to enhance detectability using frequency between 2 and 5 kHz and avoiding road traffic noise frequencies. One instance can be seen in Nissan's concept(6) that has two peaks spectral characteristics respectively at 600 and 2500 Hz and one dip at 1 kHz due to consideration of ear frequency sensitivity, hearing loss due to ageing, and ambient noise. Similar design strategy can be seen in some regulations and recommendations (*e.g.* (7)), which is intended to exceed the level of assumed maskers at 1/3-octave bands from around 2 to 5 kHz.

Even if the 1/3-octave band levels are used for an indication to determine the detectability, there are still amount of freedom to design frequency characteristics within each band. A pair of example is one pure tone component in a complex tone and one narrow band noise that have commensurate power level within a band, which both have equivalent loudness. These two sounds have equivalent masking effect and also evokes quite different hearing impression. This example shows the possibility designing the warning sounds that have equivalent detectability in an assumed environmental noise but also have different hearing impression.

In this study, the authors experimentally examined the difference of hearing impression within equivalent detectable warning sounds for quiet vehicles. The preferred sound levels and the listening impressions of 17 variation of possible warning sounds were investigated. The levels of each 1/3 octave band were set to be equivalent between all stimuli so that they shall have equivalent loudness level.

2. EXPERIMENT STIMULI

In the series of experiments conducted in this study, we designed and generated some stimuli to be used. The stimuli were intended to have equivalent levels in five 1/3-octave bands between 2 and 5 kHz but have different frequency characteristic in each band; pure-tone component or narrow band noise.

The base stimulus consisted of five pure-tone component in each 2, 2.5, 3.15, 4, and 5 kHz band. One, two, or five of the components were replaced by narrow band noises. Seventeen kind of stimuli were created in total (H₁ – H₁₇). The center frequency of the pure-tones and narrow band noises were set to be 2093, 2637, 3136, 4186, and 5274 Hz in consideration of the consonance theory.

There are some instances that the warning sounds for quiet vehicles have lower frequency components than dominant road traffic noise frequency so that they are able to be heard by the people who has hearing loss due to aging. The stimuli used in this study also added some lower-frequency components. Three pure tone components within 125, 160, and 200 Hz band were added, which were at 2^{-4} times frequency of 2k, 2.5k, and 3.15 kHz band component, namely 131, 165, and 196 Hz. These lower-frequency components were common among seventeen stimuli.

3. EXPERIMENT 1: DETECTABILITY EXAMINATION

3.1 Method

To examine the detectability of the stimuli, *i.e.* possible warning sounds for quiet vehicles, a level adjusting experiment using binaural recording background stimulus and warning sound stimuli was conducted. The outline of the procedure was similar to the authors' previous studies(8, 9, 10).

3.1.1 procedure

The experimental setup is illustrated in Figure 1. The signals were presented over Sennheiser HD-650 headphones. The input voltage to the headphones was measured, so that, taking into account the headphones' sensitivity, the playback level could be calibrated. The experiment was conducted in a sound-proof room in Nagasaki University.

Subjects could adjust the level of the warning sounds using a slider. The sound presentation was repeated until a button was pressed by the subjects indicating a satisfactory level adjustment.

One of the background stimuli was presented, and then 10 s later one of the warning sounds was overlapped. The subjects were asked to imagine that they were on a road and that the vehicle providing the warning sound positioned 2.0 m behind

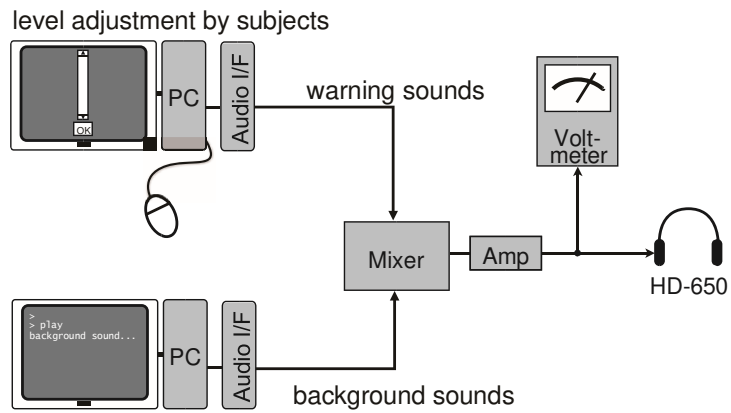


Figure 1 – Equipments setup for experiment 1.

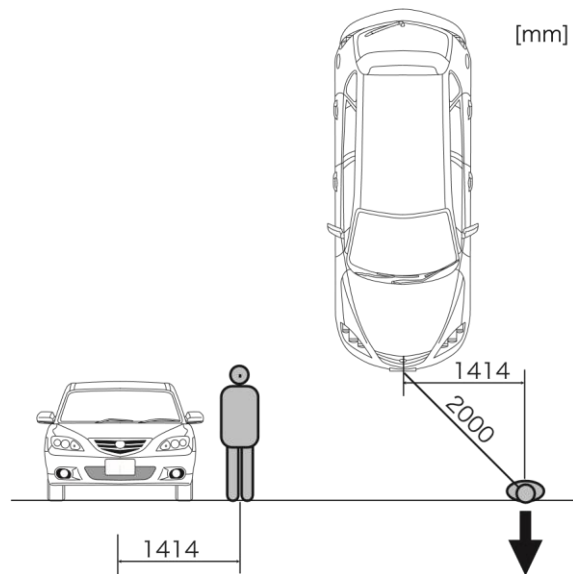


Figure 2 – Assumed relative position between the pedestrian and the vehicle providing warning sounds.

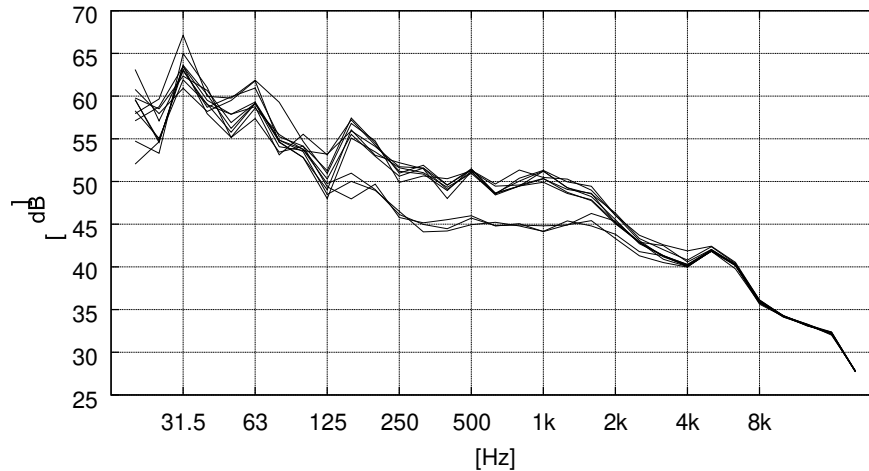


Figure 3 – 1/3-octave band levels of the background stimulus (2–20 s).

them diagonally backward right, as shown in Figure 2.

There were two tasks in each experimental session: one task was to adjust the level of warning sounds so that they were clearly audible and could be reliably detected in the background noise (hereafter referred to as "reliable level"). The other task was to adjust the warning sounds so that they were just audible in the background (hereafter referred to as "minimum level"). All stimulus combinations were presented in pseudorandom order in experiment session taking one of the tasks. The subjects took part twice for each session. The order of the tasks was switched for each new subject.

3.1.2 stimuli

The background stimulus were recorded binaurally using a head and torso simulator (HATS; Brüel & Kjær type 4100) located on the sidewalk. The recording was performed in a parking lot close to a two-lane road. The length of the background stimulus was 60 s. Figure 3 shows the

1/3-octave band levels for each 20 s duration of the stimulus every 2 s from the beginning to 20 s. The noise level of the stimulus was deemed stable.

The experimental stimuli, *i.e.* potential warning sounds, were played-back over a loudspeaker in an anechoic room and recorded via the HATS. The loudspeaker was positioned diagonally 2.0 m behind the HATS so that it can be simulated a assumed position of the subject (Figure 2).

3.1.3 subjects

Ten Japanese subjects, 3 females and 7 males, aged between 21 and 26 (median 23.5) participated in the experiment. None of the subjects reported any auditory abnormality.

3.2 result

The average and standard deviation of two adjusted levels for each stimulus were 0.6 ± 2.3 dB for the reliable level adjustment, and those were -0.6 ± 5.2 dB for the minimum level adjustment. It seemed that the adjustments by the subjects were stable, then the analysis was performed using the averaged values of two adjustments by each subject.

Figure 4 shows the inter-individual medians and interquartile ranges of the averaged adjusted levels for each stimulus. The white symbols represent the reliable levels, and the black symbols represent the minimum levels. The A-weighted equivalent noise level (L_{Aeq}) of the background stimulus is indicated by horizontal line.

No significant differences between stimuli were found. All experimental stimuli were evaluated that they all were equivalently detectable in the urban background. All stimuli had equivalent levels in 1/3-octave bands. The result suggested that levels of 1/3-octave bands could be an indicator for the detectability of the warning sounds, which confirmed the findings in previous studies(10).

The reliable levels were approximately 2–3 dB higher than the equivalent noise level of the background, while the minimum levels were approximately 5–8 dB lower than that of the background. This tendency was similar to the previous studies(8, 9, 10).

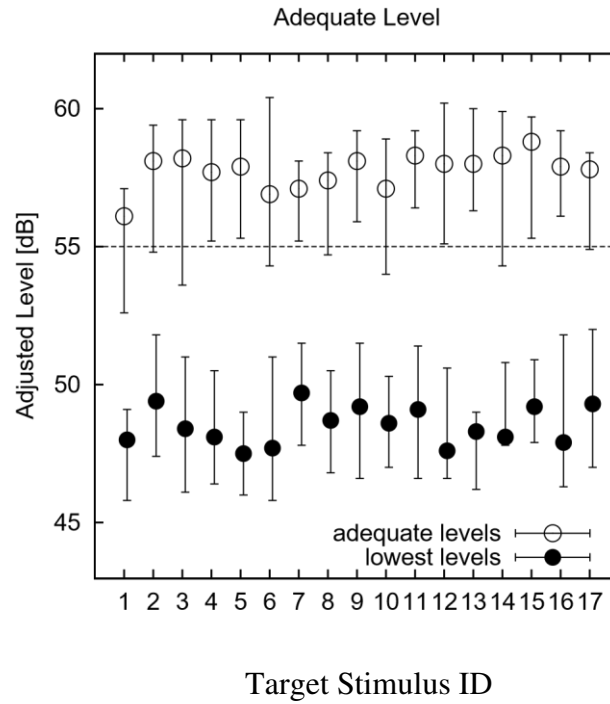


Figure 4 – Inter-individual medians and interquartile ranges of the averaged adjusted levels.

(White symbols:

reliable level. Black symbols: minimum level. Horizontal line: background noise level (L_{Aeq} .)

4. EXPERIMENT 2: EXAMINATION OF HEARING IMPRESSION

4.1 Method

To examine the difference of hearing impression of each stimulus, a subjective evaluation experiment using the semantic differential (SD) method was conducted.

4.1.1 procedure

Each stimulus were independently presented over Sennheiser HD-650 headphones. No background sound was presented in this experiment. The playback level of the stimuli was 55 dB. The experiment was conducted in a sound-proof booth in Nagasaki University.

The subjects were asked to rate the impression of each stimulus on 5-point SD scales of 14 adjectives (as shown in Table 1). The adjective scales were individually appeared in pseudo-random order on the display in front of the subjects. All stimulus were presented in pseudo-random order in an experiment session. The subjects took part twice for the session.

4.1.2 subjects

Nine Japanese male subjects aged between 21 and 24 (median 23) participated in the experiment. None of the subjects reported any auditory abnormality.

4.2 Result

Before the analysis of the rated values, the reliability of subjects' rating was confirmed. The rating scores that the difference between two rating for each stimulus and each scale was more than 3 were regarded as invalid, then 6.9% of rating scores were excluded from the analysis.

The averaged rating scores for each subject were applied to the factor analysis using the principal axis factoring. The two-factors solution was chosen on the basis of Keiser's criterion. The factor loadings after the varimax method rotation is presented in Table 1. The first factor

was interpreted as "evaluation factor" because the adjective scales such as "muddy—clear," "clean—dirty," and "bright—dark" had high loadings on this factor, which was corresponding to both sharpness and aesthetic impression. The second factor was interpreted as "powerful factor" because the adjective scales such as "powerful—unsatisfactory," "strong— weak," and "quiet—noisy" had high loadings on this factor. The result showed that these two impression factors were independent on the relative difference of hearing impression of the experimental stimuli. This suggested that the powerfulness of warning sounds could vary among similar aesthetic impression.

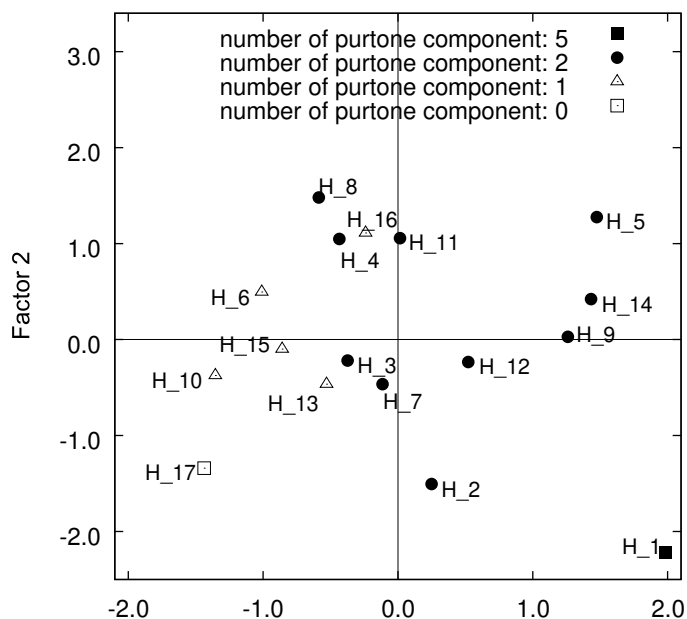
Table 1 – Factor loadings

	Factor 1	Factor 2	Commonalities
muddy — clear	0.997	-0.075	0.999
clean — dirty	-0.963	-0.065	0.931
bright — dark	-0.960	-0.052	0.923
gruff — mild	0.959	0.047	0.921
sharp — dull	-0.959	0.072	0.924
deep — thin	0.882	0.194	0.815
heavy — light	0.808	0.318	0.755
agreeable — disagreeable	-0.666	-0.076	0.449
soft — hard	0.576	-0.496	0.577
unpleasant — pleasant	0.532	0.176	0.314
powerful — unsatisfactory	0.014	0.876	0.768

strong — weak	-0.081	0.821	0.680
quiet — noisy	-0.149	-0.551	0.326
annoying — unannoying	0.061	0.159	0.029
<hr/>			
Proportion of var. [%]	51.4	15.8	67.2

The factor scores of each stimulus were illustrated in Figure 5. The positive direction of horizontal axis indicates "clear" and "bright" impression, while the negative indicates "muddy" and "dark" impression. Concerning the vertical axis, the positive indicates "weak" and "unsatisfactory" impression, while the negative indicates "powerful" and "strong" impression.

The stimulus that consisted of five pure-tone components between 2 and 5 kHz bands (indicated as filled square in the figure; H_1) had the highest score on the first factor. Many of the stimuli that consisted of two pure-tone components (indicated as filled circles in the figure) were positioned at positive side on the first factor. The stimuli including 5 kHz pure-tone component, namely H_5, H_9, H_12, and H_14, had higher



Factor 1

Figure 5 – Factor scores of each stimulus

Page 7 of

scores. It was considered that the higher frequency pure-tone component evoked a clear and clean impression. On the other hand, for the stimuli that included one or less pure-tone components, the first factor score were negative (indicated as open triangles and open square). These stimuli were rated as muddy and dirty due to the dominant narrow band components.

The fundamental frequency of the experimental stimuli was 131 Hz. When the 131 Hz component was regarded as the root of a harmonic triad, the pure-tone components in 2.5 kHz and 5 kHz band were regarded as the major third of the triad. The stimuli including the third component (*e.g.* H_1, H_2, H_7, and H_10) were positioned at negative side on the second factor. On the other hand, the stimuli without third component, *i.e.* only including the root and fifth component of harmonic triad (*e.g.* H_4, H_11) showed the tendency to be positive on the second factor. It is difficult to conclude only from these insufficient instances but, it may suggest that the harmonic structure potentially affect on the hearing impression.

5. CONCLUSION

To obtain a knowledge designing easily detectable and not-annoying warning sound for quiet vehicles, a series of psychoacoustical experiments were performed. The target frequency range was determined between 2 and 5 kHz due to the human hearing sensitivity and road traffic noise masking. Seventeen stimuli were created to have equivalent levels in five 1/3-octave bands but to have different frequency components.

The detectability of the stimuli was examined through a level adjusting experiment using binaural recording background stimulus and warning sound stimuli. The result confirmed that all experimental stimuli had equivalent detectability in an urban background noise if the stimuli had equivalent levels in 1/3-octave bands. Moreover, relative difference of hearing impression of the experimental stimuli was revealed through the subjective evaluation experiment using adjective scales. The results showed that the impression of warning sounds could be varied while having equal detectability.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was partially supported by the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS), Grant-in-Aid for Young Scientists (B) 25750003.

REFERENCES

1. Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles. National Highway Traffic Safety Administration, DOT-HS-811-204, 2009.
2. National Federation of the Blind. Key Stakeholders Agree on Measures to Protect Blind Pedestrians from Silent Cars —Urge Passage as Part of Motor Vehicle Safety Act. <https://nfb.org/node/1056> (referred 2014-08-11).
3. Yamauchi K. A discussion on the problem of quietness of hybrid and electric vehicles and additional warning sound for these vehicles. Proc. Forum Acusticum, 2014, 8 pages.
4. Guideline for the Approaching Vehicle Audible System. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), 2010. (*in Japanese*)

5. Proposal for guidelines on measures ensuring the audibility of hybrid and electric vehicles. in Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3), Annex 2, ECE/TRANS/WP.29, Geneva, Swizerland, 2011.
6. Konet H. *et al.* Development of Approaching Vehicle Sound for Pedestrians (VSP) for Quiet Vehicles. SAE int. J. Engines, 2011; 4(1): 1217–1224.
7. Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles, Docket No. NHTSA-2011-0148, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), U.S.A., 2013.
8. Yamauchi K. *et al.* An examination on required sound levels for the external acoustic sign for quiet vehicles. Proc. Inter-noise. 2010; 6 pages.
9. Menzel D. *et al.* Psychoacoustic experiments on feasible sound levels of possible warning signals for quiet vehicles. Fortschritte der Akustik (DAGA), 2011; 2 pages.
10. Yamauchi K. *et al.* Effects of age on feasible sound level of possible warning sounds for quiet vehicles.
Proc. International Congress on Acoustics (ICA), 2013; 7 pages.



EL VEHICULO ELECTRICO Y LA REDUCCION DEL RUIDO

AMBIENTE EN CIUDADES

Dr. Robert Barti

Director de RBD-Acústica

{robert@rbd-acustica.com}

Resumen

La principal fuente de ruido ambiental en las ciudades es la causada por la circulación de vehículos. Es sabido que la tipología y dimensiones de las calles tienen su influencia en los niveles de ruido medidos, y con la incorporación en la circulación de vehículos con propulsión eléctrica, se espera que en un futuro, se reduzcan los niveles de ruido ambiental. En éstos vehículos el propulsor es muy silencioso, el ruido de los neumáticos es la principal fuente de ruido. Distintos estudios apuntan a una reducción del nivel de ruido se produce únicamente para velocidades inferiores a los 50 Km/h. En este trabajo se estudian las variaciones de nivel de ruido cualitativamente a partir de los espectros de ruido medidos, con el objetivo de valorar con más detalle la percepción de los peatones. Los vehículos eléctricos no deben ofrecer similares prestaciones mecánicas que los de combustión interna. Se constata que en el futuro inmediato sería necesario un redimensionado de los neumáticos, reduciendo apreciablemente su sección para adecuarlos a unas prestaciones sostenibles del vehículo eléctrico, y para reducir eficazmente el nivel de ruido ambiente en las ciudades. Por otro lado se hace patente que las sensaciones percibidas por los peatones no se reflejan correctamente con los actuales indicadores como el L_{Aeq} o el L_{den} .

Palabras-clave: ruido ambiente, vehículo eléctrico, transporte eficiente, sonoridad, peatón.

Abstract

Traffic noise in cities is the main environmental noise source. It's well known that the type and dimensions of the streets have their own influence on the measured noise levels, and a reduction of environmental noise with the incorporation of e-vehicles, is expected in the future. In these vehicles the engine is very quiet, and tire noise is the main source of noise. Several studies point to that a reduction of the noise level occurs at speeds below 50 km/h only. This paper discusses the variations of noise level qualitatively from the measured noise spectra, in order to assess in more detail the perception of pedestrians. Electric vehicles should not provide similar mechanical performance than internal combustion vehicles. It's noted that in the immediate future a resize of tires would be necessary, in order to match with the sustainable electric vehicle performance, and reduce the environmental noise level in cities. On the other hand it's clear that the sensations perceived by pedestrians, will not be reflected with the current indicators such as L_{Aeq} or L_{den} .

Keywords: environmental noise, electric vehicle, efficient transport, loudness, pedestrian.

PACS no. 43.50.Rq

1 Introducción

La incorporación de los vehículos con propulsión eléctrica en la circulación urbana, abre las esperanzas a que el ruido ambiental que se ha mantenido casi constante durante las dos últimas décadas, finalmente se reduzca. Cabe recordar que los niveles máximos de ruido permitidos por los vehículos automóviles en la UE, se definieron en la Directiva 96/20/CE que ha permanecido

inalterada en 74 dBA para los coches. Próximamente el reglamento 540/2014, modifica la Directiva 2007/46/CE estableciendo unos nuevos límites máximos de ruido que pasan de 74 dBA a 69 dBA previsto en tres fases que terminan el 2024. Los vehículos con propulsión eléctrica aportan muchas ventajas, menor ruido, cero emisiones (del vehículo), rendimiento superior, y además se consideran en general más respetuosos con el medio ambiente.

Distintos trabajos muestran que la reducción de ruido por debajo de los 50 Km/h será apreciable. En todas estas informaciones, se muestran previsiones en base a valores globales de ruido L_{eq} en dBA, y en algunos casos con el L_{Amax} . En ésta comunicación, se consideran únicamente los vehículos automóviles de gasolina, y se establece una comparación entre los vehículos con motor de combustión interno (MCI), y los vehículos con motor eléctrico (ME). No se han considerado autobuses o motos por no disponer de vehículos de éstas categorías.

2 Origen del ruido de vehículos

Los vehículos automóviles tienen multitud de fuentes de ruido. Las principales son, el motor incluyendo escape y admisión, los neumáticos, el ruido aerodinámico y la transmisión. La fuente de ruido dominante depende de la velocidad del vehículo y de su funcionamiento. Para velocidades inferiores a los 50 Km/h aproximadamente, domina el grupo motor, mientras que para velocidades superiores domina el ruido de neumático y por encima de los 80 Km/h empieza a notarse el ruido aerodinámico. La circulación urbana tiene restringida la velocidad máxima de los vehículos, estableciendo en general, los límites de 30, 50 Km/h para las vías urbanas, y los 80 Km/h para las vías de circunvalación. La situación más frecuente en entornos urbanos es la arrancada de los vehículos cuando están parados en un semáforo. En este proceso, el ruido del

grupo motriz destaca notablemente, radiando energía de baja frecuencia, que no puede ser absorbida por los elementos constructivos cercanos. En las vías más rápidas (80 Km/h), o cuando la circulación es fluida a 50 Km/h, domina el ruido de neumático. El aumento de las potencias de los vehículos en los últimos años ha hecho que la sección de los neumáticos se incremente para poder transmitir esa potencia a la calzada y controlar el vehículo, generando más ruido.

Las componentes de baja frecuencia radiadas por el grupo motor, están relacionadas con el tipo de motor y su régimen de giro. En los propulsores de 4 cilindros y 4 tiempos, que son los más usuales en el parque automovilístico, domina el segundo orden motor. El margen de frecuencias radiado en ciudad en general, va de los 30 Hz al ralentí, hasta los 100 Hz aproximadamente que corresponde a las 3.000 r.p.m. Esta energía de baja frecuencia es la que entra con facilidad en los domicilios que dan a la calle, generando molestias en la vida cotidiana. A pie de calle, las componentes de baja frecuencia dificultan la comunicación verbal entre otros efectos.

El propulsor eléctrico ofrece una serie de ventajas interesantes: es mucho más silencioso, tiene un funcionamiento equilibrado y carente de vibraciones, un rendimiento superior al MCI, un par motor muy superior a igualdad de potencia que un MCI, no emite gases, y su mantenimiento es nulo. Mecánicamente las ventajas son muy interesantes. Algunos vehículos con ME sólo tienen una marcha, simplificando la mecánica y aligerando el peso del vehículo. En todo caso su elevado par motor, permite usar cajas de cambio con pocas relaciones.



Figura 1. Eficiencia del ME frente a los MCI diesel o gasolina, según [3].

El único inconveniente es el almacenamiento de la energía eléctrica, la autonomía y la recarga. Desde el punto de vista acústico, la ausencia de vibraciones y de ruido, lo hacen especialmente atractivo. Los vehículos eléctricos son muy silenciosos en circulación urbana, y sólo radian ruido los neumáticos. En general los vehículos eléctricos suelen tener una sección de neumático ligeramente inferiores a los vehículos equivalentes con MCI. La figura 2 muestra el resultado de un estudio donde se compara el ruido emitido por unos vehículos con MCI y un vehículo con ME, para velocidades de 0 a 30 Km/h. La mejora es de 10 dB a 5 Km/h.

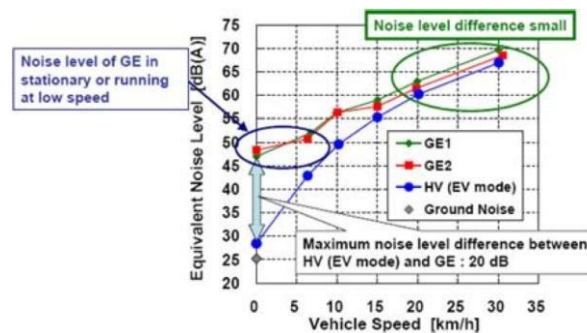


Figura 2. Comparación entre el ruido emitido por vehículos con MCI y con ME, según [2].

3 Tipología de vehículos eléctricos

Hasta la fecha existen diferentes tipologías de vehículos eléctricos. Entre el vehículo con MCI i el vehículo con ME, llamado 100% eléctrico, existen diferentes opciones que combinan un ME

con un MCI dando origen a los vehículos híbridos. La figura 3 muestra las distintas tipologías de vehículos.

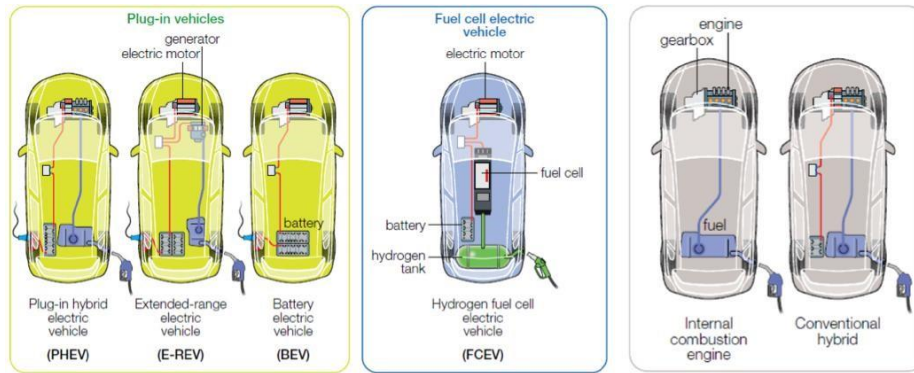


Figura 3. Tecnologías y sistemas actuales y futuros de vehículos eléctricos, según [3].

4 Objetivos del estudio

Se trata de valorar mediante mediciones de ruido, la mejora que supone el uso de los vehículos eléctricos. El estudio valora el espectro de ruido medido a 4 m. de distancia del paso de vehículos, que es la distancia media a que se encuentra un peatón en una calle céntrica de una ciudad, y permite obtener un buen fragmento de señal. No se pretende obtener valores absolutos del nivel de ruido, sino valores comparativos para un mismo punto, por lo que la distancia de éste a los vehículos, no es importante. Los resultados se analizarán cualitativamente, con el objetivo de valorar las mejoras con algo más que el simple nivel global expresado en dBA.

5 Toma de muestras

Para éste trabajo sólo se consideran los vehículos de gasolina por ser “per se” más silenciosos que los diesel. Se han seleccionado 12 vehículos de gasolina de tipo medio con cambio manual, bastante nuevos (2 a 6 años) y en buen estado de conservación. Los neumáticos están en buen estado y los vehículos no presentan defectos mecánicos de escape. Por otro lado se han dispuesto de 2 vehículos eléctricos de la misma marca y modelo, aunque de series diferentes, uno de 1 año y otro de 4 años de antigüedad. Las pruebas se realizan de noche para evitar la influencia de otros vehículos que pudieran circular por las inmediaciones, en una calle ancha. Todos los vehículos son conducidos por sus propietarios para reflejar la conducción real en las distintas pruebas.

Se realizan dos pruebas distintas: la de arrancada de parado, que correspondería a la situación en un semáforo, y la pasada a velocidad constante y con la marcha seleccionada habitualmente por el conductor que considere oportuna para cada velocidad. La arrancada de parado se realiza con una aceleración progresiva, ni muy rápida ni muy lenta. Se escogen las velocidades constantes de 30, 50 y 80 Km/h por ser los límites de velocidad más habituales en las ciudades. Cada prueba se repite cuatro veces, para poder promediar los resultados. La climatología fue favorable con ausencia de lluvia o suelo mojado y viento. Se ha escogido una calle ancha para facilitar las pruebas y maniobras. El asfaltado está en buen estado y la calle presenta una ligera pendiente, alrededor del +0,5%.

6 Equipo de medida y análisis

El equipo de medida está formado por un sonómetro tipo 1 con salida de audio que se graba en un soporte digital en formato PCM 44.1 KHz. El punto de medida se encuentra a unos 4 m. del paso del vehículo, y a una altura de 1,6 m que corresponde a la del oído de una persona de estatura media, sin obstáculos que impidan la visión directa. El objetivo no es obtener valores precisos del nivel sonoro sino comparar los niveles espectrales entre los vehículos con MCI y los vehículos con ME.

En la fase de análisis, se descartan aquellas pruebas que presentan irregularidades o ruidos extraños que pueden alterar los resultados. Las señales obtenidas se analizan en 1/3 de octava, para obtener su distribución espectral y los valores globales en dBA, y se analiza también la sonoridad con el método de Zwicker para determinar su sonoridad por bandas y la global. El método de cálculo se basa en un programa en Basic elaborado por Kuwano y Namba (1984). Este programa se adapta a Matlab para su implementación sobre plataforma MAC.

6.1 Resultado de las mediciones

Primero se muestran los resultados en 1/3 de octava para la velocidad constante. Se espera que el ruido de los neumáticos sea la parte más influyente, por lo que los niveles de ruido a 50 y 80 Km/h sean bastante similares entre la tecnología gasolina y eléctrica. Para velocidades de 30 Km/h, es donde en principio se espera más diferencia, ya que el ruido de los neumáticos se reduce bastante.

6.1.1 Resultados a velocidad constante de 80 Km/h

La figura 4 muestra a la izquierda, el espectro promedio obtenido de todas las mediciones, para los vehículos con MCI y los ME. Se muestra también el ruido ambiental promedio de todas las mediciones. A la derecha la tabla resumen de los niveles globales.

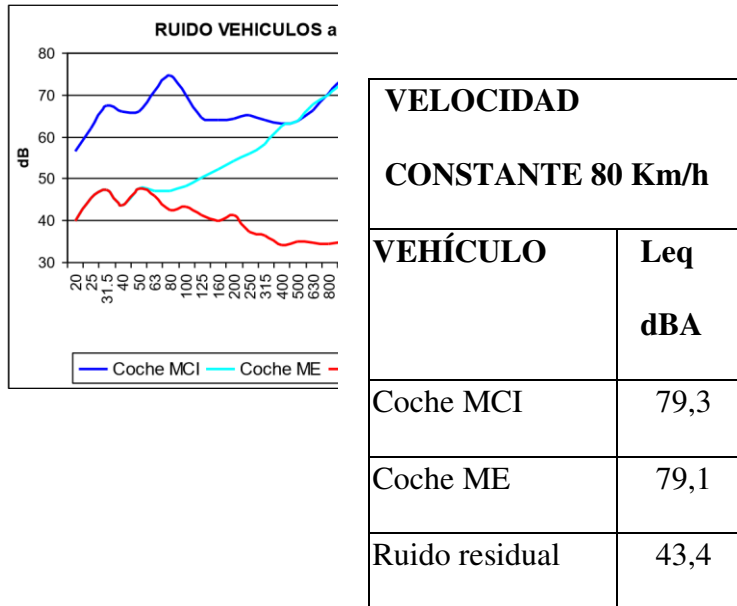


Figura 4. Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME a 80 Km/h.

Como se puede observar el pico sobre 1 KHz debido al ruido de los neumáticos es muy similar en las dos tecnologías de vehículos. Los vehículos de MCI presentan el pico alrededor de los 80 Hz que corresponde a unas 2.400 r.p.m. Como era previsible, los niveles de ruido de ambas tecnologías es prácticamente igual, ya que la principal fuente de ruido procede de los neumáticos. Sorprende que la diferencias de contenido de baja frecuencia no incremente el valor de ruido global en los vehículos con MCI. Debe tenerse en cuenta que la ponderación A, “elimina” las bajas frecuencias.

6.1.2 Resultados a velocidad constante de 50 km/h

La figura 5 muestra el espectro promedio obtenido de todas las mediciones, para los vehículos con MCI y los de ME. Se muestra también el ruido ambiental promedio de todas las mediciones.

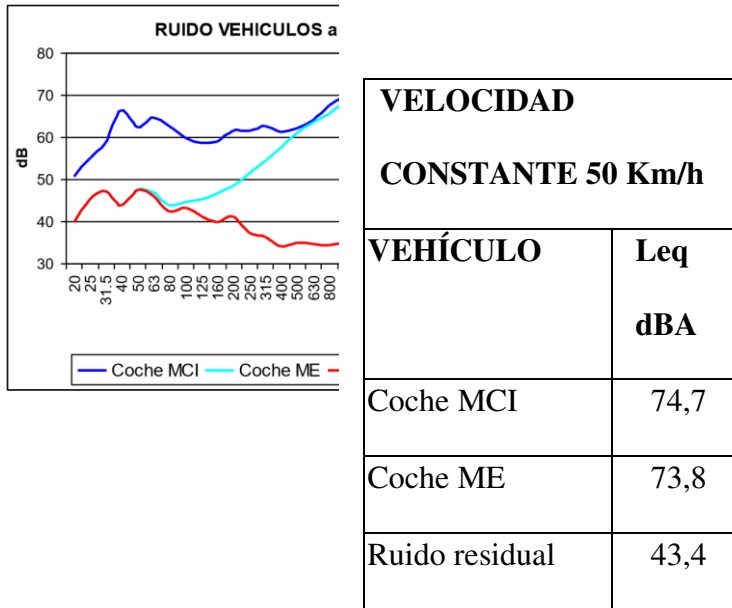
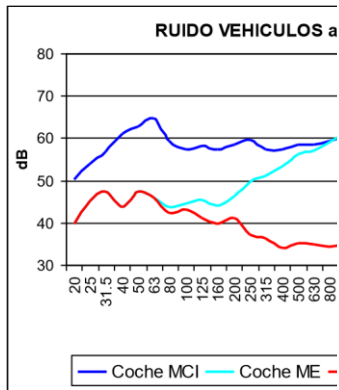


Figura 5. Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME a 50 Km/h.

Como se puede observar el pico sobre 1 KHz debido al ruido de los neumáticos es muy similar en las dos tecnologías de vehículos. Los resultados en esta ocasión tampoco arrojan diferencias entre las tecnologías MCI y ME.

6.1.3 Resultados a velocidad constante de 30 Km/h

La figura 6 muestra el espectro promedio obtenido de todas las mediciones, para los vehículos con MCI y los de ME. Se muestra también el ruido ambiental promedio de todas las mediciones.



VELOCIDAD CONSTANTE 30 Km/h	
VEHÍCULO	Leq dBA
Coche MCI	66,7
Coche ME	66,4
Ruido residual	43,4

Figura 6. Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME a 30 Km/h.

Como se puede observar el pico sobre 1 KHz debido al ruido de los neumáticos es muy similar en las dos tecnologías de vehículos.

De los resultados obtenidos se desprende que las diferencias entre los niveles de ruido de los vehículos con MCI y con ME, circulando a velocidad constante, son prácticamente nulas. Estos resultados coinciden con los obtenidos por [2]. No obstante la diferencia espectral es notable, por lo que a la vista de estos resultados se realiza un segundo análisis de sonoridad, con el objetivo de obtener más información, que permita complementar la mostrada con los espectros de ruido.

6.1.4 Sonoridad a velocidad constante

A partir de los espectros de ruido de los distintos vehículos, se obtiene la sonoridad por bandas y global utilizando el método de Zwicker. A fin de ahorrar espacio, se muestra sólo el resultado a

80 km/h. A la izquierda de la figura 7 se muestra la sonoridad por bandas del ruido. A la derecha de la figura 7, se resumen los niveles de sonoridad obtenidos.

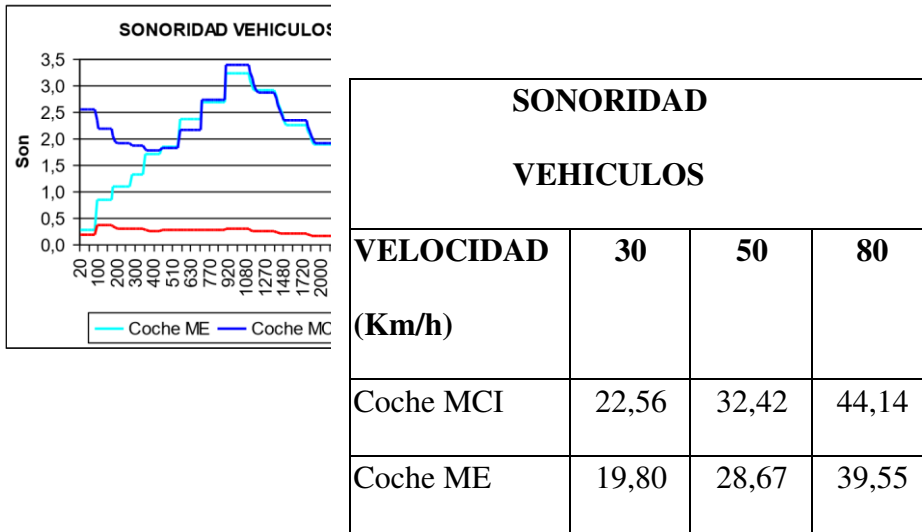


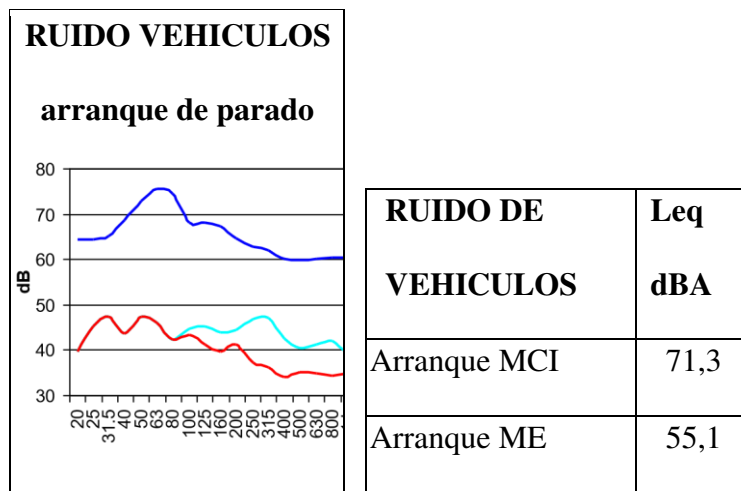
Figura 7. Sonoridad del ruido de vehículos con MCI y ME a 80 Km/h.

Los niveles de sonoridad son ligeramente inferiores para el propulsor eléctrico, para las tres velocidades seleccionadas. Dicha reducción es debida a los bajos niveles de ruido en bajas frecuencias. Las pruebas a velocidad constante, muestran que los niveles de ruido procedentes de los vehículos con MCI son muy similares a los procedentes de los vehículos con ME. En éste sentido no se aprecia ninguna ventaja en el uso de vehículos con propulsión eléctrica, cuando estos se desplazan a velocidades entre 30 y 80 Km/h. Nótese que el neumático es el elemento clave en los niveles de ruido en circulación urbana. Los vehículos con ME probados, tienen unos neumáticos de dimensiones similares a los vehículos con MCI, por lo que su ruido será muy similar, como demuestran los resultados. Una característica común en la circulación en cualquier ciudad, es la presencia de semáforos en los cruces de las calles. Esto obliga a los vehículos a pararse durante unos segundos, para reemprender la marcha pasado el tiempo de regulación. La situación más frecuente en la circulación urbana es sin duda las paradas de los semáforos. La

siguiente prueba trata de valorar el ruido generado por los vehículos con MCI y ME cuando arrancan desde parado.

6.2 Resultados de la prueba de arrancada

En esta prueba el vehículo está parado, y acelera hasta alejarse lo suficiente, sin pasar de los 50 Km/h que es la velocidad máxima permitida en entorno urbano. La aceleración se hace ni muy rápida ni muy lenta. La pericia de cada conductor y su hábito en la conducción, tiene su influencia en esta prueba, como se refleja en los resultados. Sobre el gráfico de los vehículos con MCI en la parte superior de la figura 8, se observa el pico de la arrancada desde parado que se sitúa entre los 50 y los 63 Hz que se corresponde con un margen de 1.500 a 1.900 r.p.m. aproximadamente. Nótese que el espectro refleja únicamente el ruido mecánico procedente del compartimento motor y de los sistemas anexos (inyección, embrague, transmisión, etc.), ya que la velocidad del vehículo inicialmente es cero, y al alejarse disminuye la contribución del ruido procedente de los neumáticos.



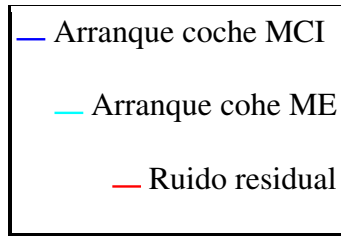


Figura 8. Espectro del nivel de ruido de vehículos con MCI y ME en arrancada de parado

En esta ocasión la diferencia de niveles es muy notable. Se observa como el espectro del ME queda siempre bastante por debajo del MCI. Esto se traduce en una reducción del nivel global de ruido de 16,2 dBA.

6.2.1 Sonoridad en arrancada de parado

A partir de los espectros de ruido de los distintos vehículos en el proceso de arrancada de parado, se obtiene la sonoridad por bandas y global utilizando el método de Zwicker. A la izquierda de la figura 9 se muestra la sonoridad por bandas del ruido al arrancar de parado. A la derecha de la figura 9, se resumen los niveles de sonoridad obtenidos. Se puede observar que no se obtiene ninguna información relevante, respecto de la obtenida con la distribución espectral.

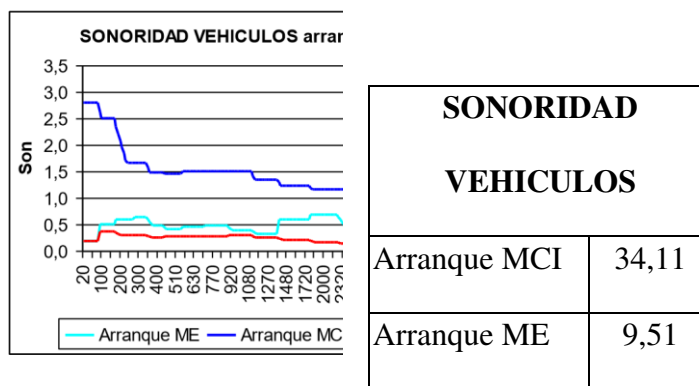


Figura 9. Sonoridad del ruido de vehículos con MCI y ME en arrancada de parado

6.3 Niveles de ruido con tráfico

Hasta ahora se han medido y mostrado los niveles de ruido de vehículos solos. La circulación en ciudades implica un mayor número de vehículos que suman sus energías sonoras. Esto redundaría en que los espectros de ruido se suavizan y los niveles sonoros aumentan. El nivel sonoro que llega a un punto receptor, depende de las fuentes de ruido que tenga más cercanas. Por muchos vehículos que circulen por las calles, los que contribuyen al nivel sonoro en un punto concreto, serán los que estén dentro de un radio de acción. Las distintas calles de una ciudad tienen regulación semafórica en los cruces. Mientras unos vehículos circulan por una calle a velocidades, digamos constantes, los de la calle adyacente están parados. La proliferación de vehículos con la función “start-stop” activada, permite observar cómo el nivel de ruido durante las pausas en las cercanías de los semáforos se va reduciendo, lo que se percibe como un “alivio” por los peatones.

Actualmente no es posible conseguir que sólo los vehículos eléctricos circulen por las calles de una ciudad, por lo que no se pueden realizar mediciones de comprobación de los niveles de ruido cuando todos los vehículos sean con propulsión eléctrica. Sin embargo se puede realizar una aproximación partiendo de los niveles individuales de las distintas tipologías de vehículos, y mediante un modelo, establecer por cálculo, las diferencias entre la circulación actual con mayoría de vehículos con MCI y con sólo vehículos con ME. Esto permitiría saber hasta donde se puede reducir el ruido ambiente en las ciudades.

Se parte de un modelo sencillo donde se valora el nivel de ruido presente en un cruce de calles, con regulación semafórica. Los intervalos de regulación de un semáforo dependen de diversos

factores. Para un cruce convencional con calles de similar densidad de vehículos, los tiempos suelen oscilar entre los 70 seg. y los 110 seg. Para el modelo se toma un valor medio de 90 seg. Se estima que el nivel sonoro que llega a un receptor situado en la cruce de las calles, tendría la siguiente configuración: durante 15 seg. vehículos que arrancan de parado, los 30 seg. siguientes, vehículos a velocidad constante, y durante 45 seg. vehículos parados (ruido residual), no se tiene en cuenta la contribución de la vía adyacente. Aunque este modelo es muy simplista, nos permite valorar la reducción de ruido que se produciría en el caso de una circulación únicamente con vehículos con ME y con vehículos con MCI.

La figura 10, muestra a la izquierda, el espectro de ruido integrado durante el ciclo semafórico de 90 seg., obtenido en las condiciones antes mencionadas. A la derecha se muestran los niveles globales correspondientes medidos a pie de calle. Como se puede observar en la tabla de la figura 10, la reducción sonora no llega a 2 dBA, a pesar de la importante reducción de energía emitida, que supone pasar de vehículos con MCI a ME.

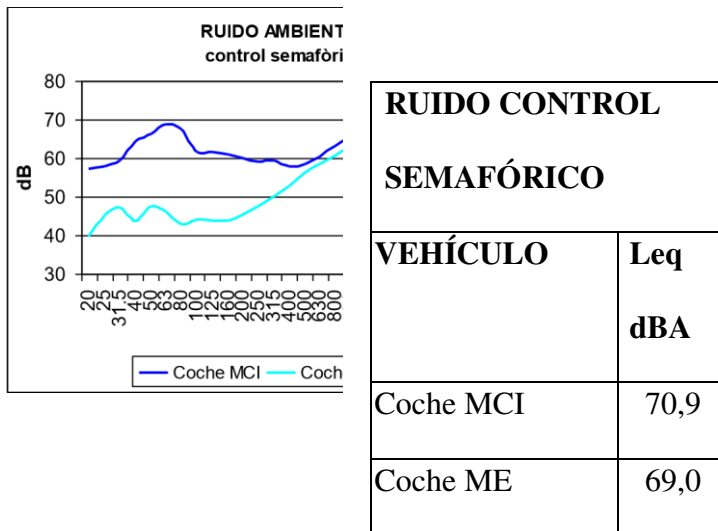


Figura 10. Espectro del nivel de ruido de vehículos con MCI y ME en un cruce

6.4 Niveles de inmisión en ambiente interior con ruido ambiental

A partir de los niveles de ruido calculados en el apartado anterior para vehículos con MCI y con ME, se determinan los niveles de ruido en ambiente interior, partiendo de un aislamiento típico de ventana. Se ha seleccionado un cierre de calidad que ofrece un aislamiento global de 30 dBA. No se trata de determinar los valores absolutos sino las diferencias de niveles que generan las dos tecnologías de vehículos analizadas. Por ello no se tiene en cuenta ni la distancia ni la presencia de balcones u otros elementos arquitectónicos. La figura 11, muestra los resultados obtenidos. A la izquierda se muestra el aislamiento por bandas seleccionado, y a la derecha los niveles de inmisión previstos. La reducción sonora global introducida por los ME es de 2,9 dBA. No obstante la reducción del nivel enmascarante de las bajas frecuencias, mejora apreciablemente el confort acústico en el interior.

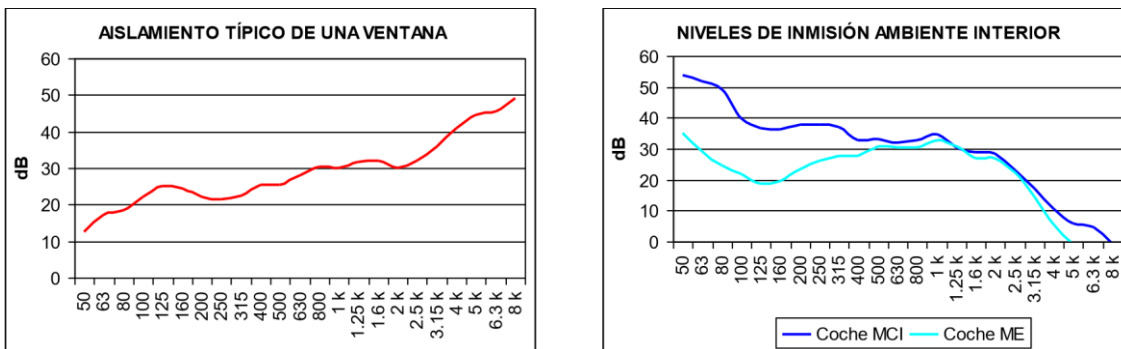


Figura 11. Izquierda, aislamiento típico ventana. Derecha, inmisión espectral en ambiente interior, producida por vehículos con MCI y ME en un cruce.

6.5 Reducción del ruido de los neumáticos

La reducción de la sección de los neumáticos reduce el nivel de ruido, aunque no es el único factor. El diseño del dibujo, y los compuestos del neumático, externos e internos, definen el ruido

emitido. Según el gráfico de la figura 11, si se desea reducir unos 6 dBA el nivel global de ruido, la sección media de los neumáticos actualmente de 195, debería pasar a 95. Obviamente las prestaciones mecánicas se deberían adecuar a estas secciones. Otro aspecto a tener en cuenta son los nuevos diseños de neumáticos sin cámara de aire, que posibilitarán una reducción de ruido adicional al eliminar el “torus noise”, una de las fuentes de ruido más influyentes. Cabe destacar que actualmente los neumáticos se diseñan para poder circular con seguridad a determinadas velocidades. Existen en el mercado, neumáticos tipo M para velocidades máximas de 130 Km/h.

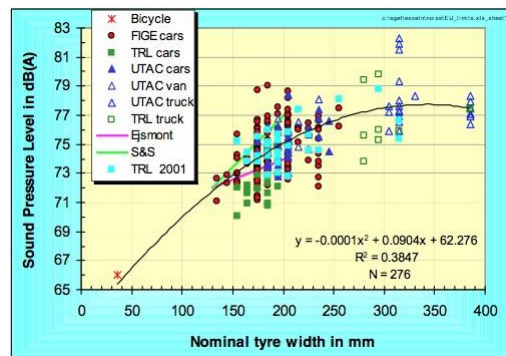


Figura 11. Nivel de ruido global en dBA en función de la sección del neumático, según [4]

7 Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se llega a la conclusión de que si bien la reducción de ruido del propulsor de los vehículos eléctricos es muy notable, permanece el ruido de los neumáticos como principal causa de contaminación acústica, en la circulación urbana. Una de las mejoras más apreciables por los peatones será sin duda, el nivel de ruido en los semáforos. Los vehículos eléctricos parados no harán ningún ruido, por lo que la sensación sonora, que no los niveles de ruido medidos en dBA, será de auténtico confort. Se muestra una vez más que las mediciones con el dBA no reflejan las sensaciones percibidas por los peatones a pie de calle.

Nótese que los niveles de ruido entre vehículos con MCI y ME, salvo en el caso de arrancada de parado, son muy similares. El diseño del vehículo eléctrico, debe orientarse mas hacia el transporte eficiente y sostenible, focalizando en el menor consumo, y emisiones, y dejando a un lado la “competencia” con los vehículos con MCI tratando de igualar sus prestaciones mecánicas. Nótese que en las dos últimas décadas, se ha mantenido la cilindrada de los MCI, y la potencia media se ha duplicado, exigiendo mayor calzado para poder soportar las prestaciones del motor. Para una velocidad máxima de, digamos 130 Km/h, no hacen falta 200 CV y neumáticos de 225. La reducción del ruido en las ciudades sólo será posible si se reducen significativamente las secciones de los neumáticos, y a la par la reducción de las prestaciones mecánicas de los vehículos. Todo ello requerirá campañas de educación y sensibilización por los medios de transporte eficientes, empezando por los más pequeños, para que en un futuro no muy lejano, la reducción del ruido ambiente en las ciudades sea una realidad.

Referencias

- [1] Bérengier M.; Pallas M-A; Kennedy J.; Morgan P.; Gasparoni S.; Reinhard W. Noise emission levels for electric and hybrid vehicles – First results of FOREVER project. *Transport Research Arena 2014*, Paris.
- [2] Sandberg U. Adding noise to quiet electric and hybrid vehicles: an electric issue, *Acoustics Australia*. Vol 40, nº 3, 2012, pp 211-220.
- [3] OLEV. *Driving the future Today. A strategy for ultra low emission vehicles in the UK*, Office for Low Emission Vehicles. September 2013.
- [4] Sandberg U. Tyre/road noise – Myths and realities Proceedings of The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. The Netherlands, 2001.







International Journal of
Environmental Research and Public Health



Article

**New Risk Situations Related to Low Noise from
Electric Vehicles: Perception of Workers as
Pedestrians and Other Vehicle Drivers**

María Carmen Pardo- Ferreira *, Juan Antonio Torrecilla-García, Carlos de las
Heras-Rosas and Juan Carlos Rubio-Romero

School of Industrial Engineering, Universidad de Málaga, 29071 Málaga, Spain;

juantorrecilla@uma.es (J.A.T.-G.); chr@uma.es (C.d.l.H.-R.); juro@uma.es (J.C.R.-R.)

* Correspondence: carmenpf@uma.es



Received: 1 August 2020; Accepted: 8 September 2020; Published: 14 September 2020

Abstract: Sales of electric and hybrid electric vehicles are increasing steadily worldwide, and consequently their presence increases in city areas. At low speeds, the low levels of noise produced by these vehicles could become a new risk factor for road users. However, the magnitude of the risk has not been accurately determined. In addition, its inclusion in the work environment could pose a new risk that should be managed. Thus, in relation to low noise levels of electric and hybrid vehicles, this study aimed to characterise the risk situations and determine the risk perception of workers as pedestrians and internal combustion engine vehicle drivers coming into contact with these vehicles. The data were extracted from 417 questionnaires filled out by the employees of public service companies who come into contact with electric and hybrid vehicles during their working day in the city of Málaga, in the region of Andalusia, Spain. According to the experiences reported, it seems that the risk due to the low noise levels of electric vehicles is moderate and does not reach alarming levels. These risk situations usually occurred in low speed urban areas, particularly when crossing the road, or in semi-pedestrian areas. Almost half the respondents considered that the electric vehicle poses a risk to other road users because it is more difficult to hear, and they believe it likely that other road users could be injured. Despite that risk, pedestrians did not change their way of walking or moving around the parking areas and other areas of the company. Electric and hybrid electric cars are now required to produce sound when travelling at low speeds. Nevertheless, the effectiveness of this measure should be assessed once implemented and future research should explore alternative non-acoustic measures.

Keywords: electric vehicles; risk perception; pedestrian; road users; road traffic safety; low noise; occupational health and safety

1. Introduction

The number of electric cars registered reached an all-time high in 2017, with more than 1 million units sold worldwide. In fact, the global stock of electric cars surpassed 3 million vehicles in 2017, after passing the threshold of 1 million in 2015 [1]. By 2019, that number had swelled to 7.2 million [2]. Forecasts indicate that the number of electric vehicles (EVs) will continue to increase in the future and will eventually replace internal combustion engine (ICE) vehicles in cities. EVs are characterised by being environmentally friendly and silent. Electric engines have several advantages over conventional combustion engines, such as greater efficiency, durability, lower maintenance costs, and lower noise levels [3]. Nevertheless, this latter characteristic has generated much controversy in recent years [4–7].

In general, road traffic noise in urban environments is generated by vehicles and is mainly due to the friction of the tires and the noise of the engine. At speeds of over 30 km/h, the noise of tire

Int. J. Environ. Res. Public Health **2020**, *17*, 6701; doi:10.3390/ijerph17186701

www.mdpi.com/journal/ijerph

friction overcomes the noise of the engine [8]. However, at low speeds, the predominant noise is that of the engine. Specifically, EVs and hybrid electric vehicles (HEVs), which operate in electric mode at low speeds, have quieter engines at these speeds. This, coupled with the increased use of low noise road surfaces, could pose a threat to the safety of vulnerable road users [9] who rely on their senses of sight and hearing to navigate road traffic safely in urban environments, since the paucity of auditory cues associated with the approach of these vehicles at low speeds increases the risk of pedestrian accidents [10–12]. Recent work has focused on

analysing the relationship between the age of younger pedestrians and the ability to correctly collect and interpret visual and auditory signals from road traffic [13,14], which indicates that in children under 11 years of age the interpretation of auditory signals can be erroneous. To this aspect, it should be added that the increasing use of portable audiovisual aids while walking, such as cell phones, headphones, tablets, etc., is making it difficult for mainly young people to perceive vehicles.

The absence of acoustic signals that help detect the presence of an EV or HEV can compromise pedestrian safety, especially in low visibility areas or in the case of blind people. According to Morgan et al. [15], the scale of the problem is currently very small, and Cocron and Krems [16] suggested that dangers associated with low noise emissions might be less significant than previously expected. Nevertheless, the magnitude of the risk is still not known accurately, although it seems clear that the low noise levels typical of EVs and HEVs at low speeds presents a new risk to road users.

Vehicles and individuals live together simultaneously in our cities. Traffic regulations, road design, pedestrian walkways and other elements form a shared environment where the pedestrian and the vehicle inevitably have to use the same space. The pedestrian is a very important actor in this situation, if the sound of vehicles moving faster than pedestrians seems important to us, so is the behaviour and sensory capabilities demonstrated by individuals. The responsibility is not unique to drivers of vehicles that do not emit sound, pedestrians also exercise personal responsibility. The increasing use of headsets, cell phones and other portable devices is present in a large part of today's accidents, regardless of whether a VE or HVE was involved. Human beings have used their senses to prevent and avoid dangers since prehistoric times. The current advance in technology, which allows us to move around in increasingly silent vehicles, could be

used to improve our environment, which does not imply that drivers and pedestrians have to adapt to this new situation.

Having identified this issue, the question arises of whether the absence of noise can contribute to the increase in the number of crashes involving EVs and HEVs and pedestrians or other road users. Some countries have performed statistical analyses of vehicle crashes involving pedestrians, comparing HEVs and ICE vehicles. The NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), in their study on the Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles [17], found that HEVs have a higher incidence of pedestrian and bicyclist crashes than ICE vehicles in certain vehicle manoeuvres at low speeds [17]. Likewise, a study conducted by the UK Transport Research Laboratory suggests that proportionately more EVs and HEVs hit pedestrians than ICE vehicles [15]. However, this study highlighted three notable limitations on the validity of the results: the lack of information on usage patterns and total mileages; the small size of the database; the impossibility of determining whether HEVs were operating in full electric mode at the time of the crash. For these reasons, it cannot be determined whether the lack of noise from EVs and HEVs was a contributory factor in the crash [15]. As a result, the NHTSA study has been widely criticised [7,15]. Studies performed in other countries, such as Netherlands [18] and the Japan [19], did not find a higher incidence of pedestrian crashes of HEVs with respect to ICE vehicles, and to date there has been little direct evidence to conclusively indicate that low noise levels cause more crashes.

Researchers evaluating the risks associated with low noise emissions from EVs and HEVs have used various different approaches. According to Misdariis and Cera [20], three types of studies can be established. First, those that analyse the impact of EVs and ICE in terms of noise levels from the perspective of both pedestrians and drivers. Specifically, studies focussing on

pedestrians mainly explored auditory detectability [11,21–27], and those that focus on drivers mainly analyse their perception of risk [16,28–30]. Second, studies analysing the extent to which low noise levels emitted by the EVs [31–33] can influence crashes. Third, studies focussing on potential solutions for the issue of low noise emissions of EVs. Proposals can be generally grouped under acoustic solutions, namely, adding noise to the EV [4,5,7,34–36], and non-acoustic solutions [5,7].

Non-acoustic solutions could be used to reduce risk without losing the benefit of reduced acoustic pollution in cities. Although this approach has several benefits to human health, it has not been widely researched. Governments are loath to add noise to these vehicles, and accordingly have developed different regulations that require all silent vehicles to incorporate Acoustic Vehicle Alerting Systems (AVAS). The law comes into force from 2019 in Europe [37], and in 2020 in the United States [38] (National Highway Traffic Safety Administration, 2018). However, Sandberg [7] points out that this solution can have the opposite effect and lead drivers to transfer the responsibility of avoiding collisions to pedestrians, on the assumption that since their vehicles are equipped with AVAS, it is the pedestrian's responsibility to hear them and adequately evaluate the risk. Cocron and Krems [16], meanwhile, point out that technological solutions alone might not solve the problem, and found that drivers adapted their driving behaviour to compensate for low noise emissions. According to Hoogeveen [29], when the first cars were introduced in cities, pedestrians changed their behaviour and paid more attention when crossing the road, suggesting that pedestrians may be able to adapt their behaviour over time. However, the small number of electric vehicles in traffic that exists today and the short exposure time of pedestrians to these vehicles do not allow this suggestion to be verified yet.

No studies have, as yet, analysed the risk situations and the perceived risk from the point of view of the pedestrian or ICE vehicle drivers. All existing studies use auditory detectability, statistical analysis, or other tests, but the individual perception of pedestrians has not been examined. This study is intended to characterise risk situations, and to determine the risk perception of the low noise levels of EVs and HEVs held by workers in contact with these vehicles as pedestrians and ICE vehicle drivers. Although the number of electric vehicles is gradually increasing in cities, there are still very few compared to ICE vehicles. Therefore, in order to ensure that pedestrians and ICE vehicle drivers studied are in frequent contact with EVs and HEVs, the study focuses on an occupational field in which workers from certain companies have had contact with EVs and HEVs in their work environment for at least two years. This selection, applied in the search for respondents, could be interpreted as a bias in the research. The reason for conducting surveys of people who meet the profile described above is generated by the difficulty of finding citizens in the total population who have had or have contact with this type of vehicle, since the percentage of vehicles of this type is still low, coupled with the importance that this type of risk presents in the workplace. This research is part of a larger project in which the risks and situations caused by the low noise levels of EVs and HEVs have been analysed from the point of view of drivers, pedestrians and experts.

2. Materials and Methods

The study was performed in the city of Málaga, which is located in Spain's Andalusia region. Málaga, on the Mediterranean Costa del Sol, is the southernmost large city in Europe. With a total area of over 395 km² and a population of 570,006 inhabitants in the 2017 census, it is the sixth most populated city in Spain and the second largest in Andalusia. In demographic terms, therefore, it is larger than cities such as Lisbon, Dublin or Manchester.

Hereinafter, the term “electric vehicles” includes electric vehicles and hybrid electric vehicles operating in electric mode at low speeds. Likewise, in the present study, “risk situation” was defined as a situation in which the worker perceives a danger that could damage the health of the people exposed to it or cause material damage. Therefore, a particular and extreme case of risk situations is crashes with EVs or HEVs, since it is a risk situation in which the danger materialised causing an accident. However, due to their importance, when the workers were asked if they had experienced risky situations, they were also asked to specify if these risk situations had led to a crash.

It is important to note that this study is part of a larger project in which the perception of drivers, pedestrians and experts was analysed with a common approach. Initially, the risk perception of drivers regarding the lack of noise was analysed [39]. Next, the risk perception of pedestrians was analysed, and the results are presented in this manuscript. Finally, a panel of experts was carried out to know their perception of risk and analyse the results obtained. For all this, the model proposed by Rundmo and Iversen [40] on risk perception was used as a framework. This model considers that the perception of risk can be divided into two components, the rational component and the affective component. The rational or cognitive component is based on probability judgments and beliefs about traffic risks and the affective component or emotion-based component is based on worry and emotional reactions when thinking of traffic hazards. In addition, studies developed by Crocron and Krems [16] and Labeye et al. [30], which specifically focussing on the risk perception of low noise of electric vehicles, were used as a reference for the development of the questionnaires. Following their investigations, additional aspects were included in the questionnaire items.

In line with this, to evaluate the risk situations experienced by workers as pedestrians and ICE vehicle drivers, an ad hoc questionnaire was designed based on the studies of Rundmo and Iversen [40], Cocron and Krems [16], Labeye et al. [30] and Pardo-Ferreira et al. [39]. The questionnaire was divided into three sections, as shown in Figure 1. Initially, the workers who participated in the study were given an introduction to the research project and the aim of the questionnaire in order to ensure they understood the context of the research in which they were participating. The questionnaire also included a comment box in which they could express opinions, observations and additional comments on the study topic.

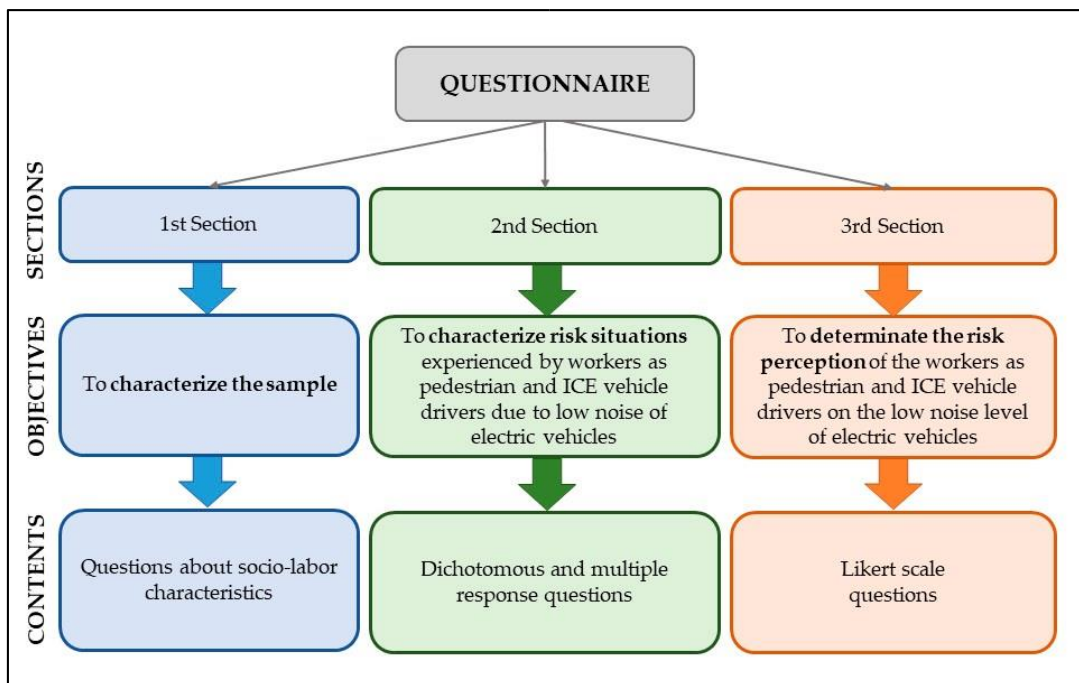


Figure 1. Structure of the questionnaire for workers as pedestrians and internal combustion engine (ICE) vehicle drivers about the situations and risk related to low noise levels of electric vehicles (EVs) and hybrid electric vehicles (HEVs).

The first section was very brief and collected information about the social and employment status of the participants with the aim of characterising the sample. The second section was

intended to identify and characterise the risk situations caused by the low sound levels of EVs experienced by study participants as workers. This section was the most extensive and included some dichotomous and some multiple response questions. In this way, the questions directly focused on the characteristics and the specific conditions in which the risk situations occurred, allowing participants to select more than one response if necessary.

The third questionnaire section analysed the risk perception of pedestrians and other vehicle users of the low noise levels of electric vehicles. Following the same structure of the model developed by Labeye et al. [30], and with the aim of making future comparisons, the section was composed of 6 items rated on a 6-point Likert scale from 1 “very strongly disagree” to 6 “very strongly agree”. These items

were adapted from the study by Pardo-Ferreira et al. [39], in turn based on earlier studies [16,30,40], which focused on the risk perception of EV drivers on the low noise emissions of EVs. One item was selected for each aspect of the risk perception evaluated, such as low noise level, safety, comfort, cognitive and affective component. A final item was included to determine the pedestrians’ opinions on the possibility of implementing an idling noise in EVs. Pedestrians and ICE vehicle drivers were also asked to assess the risk level of situations that could be caused by the low noise emission of electric vehicles.

The respondents had to rate the risk level from 1 “not dangerous at all” to 10 “very dangerous”.

The participants completed the questionnaire at their workplaces. In some cases, the questionnaire was sent to them by email so that they could answer it online. In other cases, workers did not have computers at their workplace and shift changes were used for workers to complete the paper questionnaire. Figure 2 presents a summary of the questionnaire analysis

process. Initially, 512 questionnaires were obtained, of which 95 were discarded due to lack of coherence or predominance of unanswered questions. Finally, 417 questionnaires were obtained for analysis. The collected information was analysed in the results section. Among the 417 participants there were 66 participants who reported having experienced risk situations. Due to their special interest, their responses are analysed separately and presented in the results section.

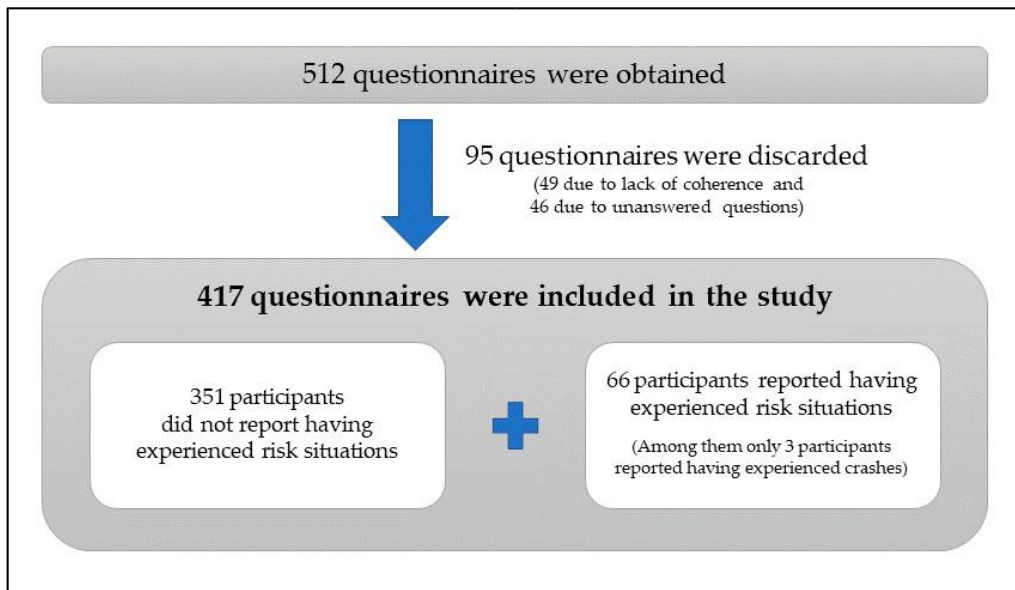


Figure 2. Analysis process applied to the questionnaires.

Socio-Demographic Characteristics of the Participants

The main characteristics of the study participants are shown in Table 1. All worked in public service companies in Málaga, had an average age of 42 years, and included pedestrians and ICE vehicle drivers. The companies were responsible for public services in the city, such as water supply, environment, operational services, solid waste collection, or street cleaning, and all included EVs and HEVs in their fleet. The vehicles are driven, usually at low speeds, through the facilities and parking areas of the companies used by pedestrians and ICE vehicle drivers. Only 5% of the workers polled had held their job for less than two years. Furthermore, the majority of

participants worked as operators, and as such frequently moved around within the companies' facilities and also provided services outside, that is, in the city. Consequently, most of them have been in contact with EVs and HEVs during their working day for 2 years or more, since the EVs and HEVs were acquired by companies between 2 and 4 years before carrying out the present study. This concentration in space and time of EVs and HEVs and pedestrians and ICE vehicle drivers provided a natural laboratory environment for this exploratory study.

Table 1. Characteristics of the sample of workers (n = 417).

Socio-Demographic Characteristics of the Sample			
Variable	Response Options	Cases	Percent
Gender	Male	320	77%
	Female	97	23%
Age	Less than 25 years	14	3%
	25 to 34 years	67	16%
	35 to 44 years	152	36%
	45 to 54 years	112	27%
	55 to 64 years	40	10%
	Over 64 years	0	0%
	No response	32	8%

	Manager/CEO	4	1%
	Management Position	8	2%
	Technical Position	19	5%
Job post	Operator	386	93%
	Less than 1 year	10	2%
	More than 1 year and less than 2 years	8	2%
Seniority in the company	More than 2 year and less than 3 years	5	1%
	More than 3 year and less than 4 years	6	1%
	4 years or more	334	80%
	No response	54	13%

3. Results

3.1. Characteristics of Risk Situations

In order to identify risk situations related to EVs and HEVs, the workers were asked if they had experienced a risk situation due to the low level of noise of EVs and HEVs. Furthermore, they

were asked to differentiate whether these risk situations had led to a crash or not. Figure 3 shows the responses obtained from the 417 participants.

According to this figure, 66 participants reported having experienced risk situations. The responses of these 66 participants (15.8% of total participants) were analysed separately in order to perform an in-depth analysis and characterise the reported events. The results of this analysis are summarised in Table 2.

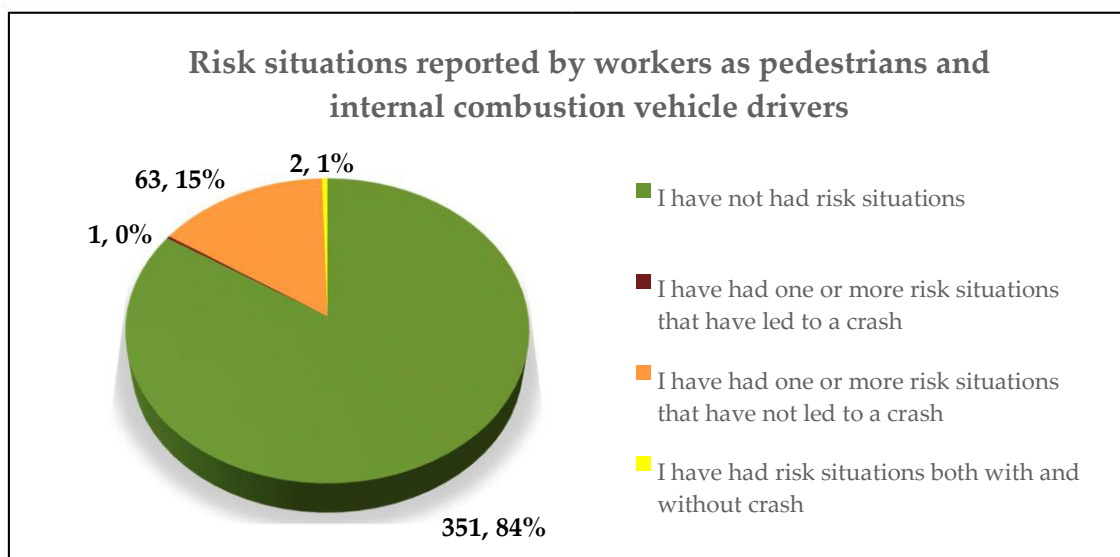


Figure 3. Results of risk situations reported by workers (n = 417).

The participants reported a low frequency of crashes with EVs or HEVs during the time they had been in contact with these vehicles in the work environment, that is, between two and four years. Almost two thirds of respondents who reported experiencing risk situations indicated that these situations occurred once or several times per year.

Questions on the types of risk situations were multi-response, so many pedestrians and ICE vehicle drivers selected more than one answer. When these events occurred, more than half of the participants were pedestrians. Analysing the type of vehicles involved showed that both

electric cars and hybrid cars were involved in more than half of the risk situations reported. In fact, the three participants who had experienced a crash indicated that the type of vehicle involved was an EV or HEV. The results also show that slightly more than a quarter of the participants indicate that other types of EVs and HEVs were involved in these situations. The reason is that one of the companies collaborating in this study has other types of small EVs that travel daily through the city for waste management services and street cleaning. These are Piaggio Porter Rossi waste collection vehicles

with containers. Finally, regarding hybrid electric cars, many of the situations involved hybrid taxis, which, as the participants observed, are increasingly prevalent in the city of Málaga.

Regarding the areas or settings in which the risk situations occurred, the majority of participants reported having experienced them in the urban setting. This may be due to the fact that these workers spend a large part of their working day on the streets of the city, since they work in public service companies. In the comment box, some participants highlight the problem of hearing EVs and HEVs in these areas *“I did not see the car until it was 3 m away”*. Especially when crossing the road, *“I did not hear him coming and I thought it was safe to cross”*, *“when crossing a street, I did not notice the vehicle because I did not hear it”* or in semi-pedestrian areas, *“in pedestrian streets, you cannot hear the vehicle”* *“the danger may lie in pedestrian streets”*.

Problems in parking areas were also reported by some participants. Accordingly, observations such as *“in zones shared by vehicles and pedestrians, such as parking lots, in which pedestrians do not perceive the presence of an electric vehicle”* were recorded. Some of these events occurred within the company’s facilities, such as *“I did not notice that the electric car was*

starting to circulate in the indoor parking lot” or “I was walking along the track and I did not hear the car”.

Table 2. Identification and characterization of risk situations by workers (n = 66).

Characterization of Risk			
Situations			
Variable	Response Options	Cases	Percentage
How many crashes with an electric vehicle have you been involved in due to the lack of noise of these vehicles?	0	63	95%
	1	2	3%
	2	1	2%
How often have you experienced risk situations?	Never	3	5%
	Once a week	3	5%
	Once a month	3	5%
	More than once a month	14	21%
	Once a year	19	29%
How do you get around?	More than once a year	24	36%
	On foot, as a pedestrian	33	50%
	Driving ICE vehicle	24	36%
	Both	7	11%
	No response	2	3%

	Electric car	27	38%
	Hybrid electric car	13	18%
With what type of vehicle did	Electric motorcycle	9	13%
you have such risk	Hybrid electric	1	1%
situations? *	motorcycle		
	Other electric vehicles	19	27%
	No response	2	3%
	Less than 30 km/h	29	34%
	Driving straight	14	16%
	While overtaking or	8	9%
	driving	7	8%
Under what circumstances did it	When the vehicle started		
occur? *	or parked		
	At a traffic light, turning,	8	9%
	or at an intersection		
	In other manoeuvres	16	19%
	No response	3	4%
	Urban areas	51	73%
In what areas did risk situations	Garage and repair zones	2	3%
occur? *	Parking areas	11	16%

Other company facilities	5	7%
No response	1	1%

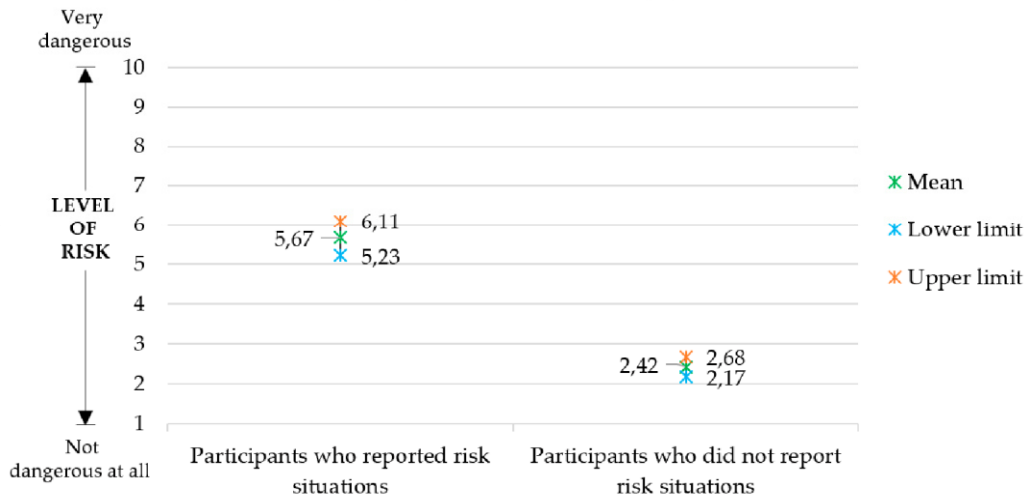
* Multi-response questions.

3.2. Risk Perception of Pedestrians and ICE Vehicle Drivers

All 417 workers surveyed, both pedestrians and ICE vehicle drivers, were asked to rate the level of risk related to the low level of noise of EVs and HEVs to other road users (pedestrians, cyclists, drivers of other vehicles) on a scale of 1 to 10. Figure 4 shows the results obtained. The average level of risk perceived by all participants was 3.03 (SD = 2.46). In fact, almost 41% of respondents described the risk level of situations involving EVs and HEVs as very low (1).

A statistical analysis was performed to find significant differences in the perceived risk of participants who reported risk situations and those who did not. The Kolmogorov–Smirnov test showed that the data were not normally distributed, so the non-parametric Mann–Whitney test was applied. The results showed a significant difference in the level of risk perceived by participants who reported experiencing risk situations and those who did not, $U = 2444.500$, $Z = -9.708$, $p = 0.000$. In fact, those who were involved in these events rated the risk higher.

Perception of the workers as pedestrian and ICE vehicle drivers on the level of risk due to the low noise of the electric vehicles*
(Mean and 95% confidence intervals)



* 72 of the 417 drivers did not answer this question (n=346)

Figure 4. Level of risk of situations that could be caused by the low noise emissions of EVs, assessed by workers as pedestrians and internal combustion engine vehicle drivers (n = 346).

In the case of workers who reported having experienced a risk situation (n = 66), a descriptive data analysis was used to explore the impact of the different characteristics of involved risk situations on risk perception. According to this, the significance of the difference in the types of vehicle involved, how the worker got around, the circumstances in which it occurred or the area in which it occurred, on risk perception was tested using one-way ANOVA and Tukey’s post-hoc tests. These variables were previously confirmed to be normal using the Shapiro–Wilk test and the equality of variance was verified using the Levene test. The results indicate that there are no significant differences between the level of perceived risk according to the characteristics of the risk situations experienced by the workers, since in all cases it was fulfilled that $p > 0.05$ as shown in the Table 3.

Table 3. Summary of ANOVA analysis of the significance of the characteristics of risk situations on the perception of risk.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
How do you get around?	2.021	2	1.01	0.318	0.729
With what type of vehicle did you have such risk situations?	4.183	5	0.837	0.253	0.936
Under what circumstances did it occur?	21.064	6	3.511	1.166	0.337
In what areas did risk situations occur?	20.989	4	5.247	1.783	0.144

Participants were also asked to rate their agreement with six statements on a 6-point Likert scale. The results obtained are shown in Appendix A. Following the example of Labeye et al. [30], the percentage of “agreement” and the margin of error for each item were included. This percentage was calculated from the aggregate of the three upper values of the Likert scale (4-5-6).

Initially, the perception of the effect of electric vehicles on road safety was studied. The results indicated that more than half of the participants considered that electric vehicles posed a greater risk to other road users because they are more difficult to hear. In this respect, one participant indicated, *“it is fundamental for pedestrians to be able to detect the presence of vehicles, and the absence of noise is dangerous for pedestrians”*.

Analysing the perceived comfort, the majority of participants considered that the silence of the electric vehicles was pleasant. The cognitive component was evaluated, considering the probability that electric vehicle drivers could injure or damage other road users. The majority of participants disagreed with the statement that it is very improbable that this would occur. Therefore, they believe that it is probable that other users could be injured or damaged.

Following this, the influence of the silence of electric vehicles on the behaviour of pedestrians and other users was analysed. The findings showed that most had not changed their way of walking or moving around in the parking areas, garages and other areas of the company due to the lack of noise of the electric vehicles.

Finally, an item was included in the survey to estimate the possibility of incorporating an additional sound to these vehicles when the engine is in idle. In this case, the distribution of the answers presents some symmetry, without obtaining a result significantly for or against incorporating engine idling sounds. In fact, the percentage in favour of the incorporation of noise to the engine at idle was 50% with the average of 3.55 (SD = 1.8).

3.3. Additional Comments from Pedestrians and ICE Vehicle Drivers

As mentioned above, participants were allowed to write additional comments at the end of the questionnaire in the comment box. Some pedestrians and users of ICE vehicles argued in favour of EVs and HEVs for different reasons, such as the positive impact of these vehicles on the environment. Thus, some of them commented *“I think electric vehicles are great, because they help with the pollution of the planet and also do not pollute acoustically”* or *“Electric vehicles are quieter and pollute less, making them better”*. Some participants also recognised

potential problems but considered that they could be solved by extreme caution, and the environmental advantage was reiterated: *“Undoubtedly, it is obvious that the low noise level can have a certain impact on both pedestrians and other types of vehicles. However, it is imperative to use extreme caution when driving these vehicles and when walking along the road, in order to avoid any type of crash. I think that electric vehicles contribute to better environmental conservation”*.

Others argued that it was important to keep an eye out for possible risk situations: “I have not had a crash, nor have I witnessed any crashes caused by an electric vehicle due to the low noise level. In addition, one of the most important senses for a pedestrian or driver is sight, and most modern vehicles are relatively soundproof”.

Some participants pointed out the importance of all road users, both drivers and pedestrians, respecting road safety rules, whether or not EVs are involved: *“As long as the people follow road safety rules, there should be no crashes, and the elimination of acoustic contamination is possible”* or *“The noise does not imply that the driver does not respect traffic regulations. Pedestrians must also respect them”*.

On the other hand, some participants considered that possible risk situations have been the responsibility of the driver and not caused by the absence of noise: *“In my opinion, it is not the vehicle, it is the driver that drives it”* or *“The important thing is not that the car makes a noise when driving. The interesting thing is that the driver is aware of this situation and drives properly, paying special attention in pedestrian zones, parking, etc.”*.

Although some participants were strongly in favour of the absence of noise, some highlighted the danger related to the lack of noise: *“In general, I understand that noise is a risk for pedestrians”* or *“I have not had any risk situation, but when I walk I do not hear them, and*

that is a problem for someone working in the street". So, some participants considered it necessary to take measures, such as *"they should make some noise to see them coming"* or adding *"to the car some kind of sound or a type of safety braking in case the driver is distracted"*.

4. Discussion

The results show that only three of the 417 participants reported crashes involving EVs on the road or in their company's facilities. Regarding the level of risk perceived by pedestrians and ICE vehicle drivers, the results initially seem to indicate a relatively low level of risk. However, an in-depth analysis indicated a significant difference in the assessment of the level of risk between the two groups of participants. Thus, participants who had experienced risk situations reported a higher level of risk than participants who declared they had not experienced any such situation. Nevertheless, only 15.8% of the participants reported having experienced risk situations, which could explain the average value obtained. In addition, this finding also suggests that past experience with risk situations correlates with the level of perceived risk for pedestrians and ICE vehicle drivers due to the EV's lack of noise.

Admittedly, it is mandatory to add sound to EVs and HEVs manufactured from July 2019, and this will be mandatory for any EVs or HEVs on the roads from 2021 in Europe. In the United States, this measure has been postponed until September 2020 to clarify the technical requirements for these vehicles. Nevertheless, other complementary actions should be undertaken by governments, since the problem is not entirely solved by simply adding sound to these vehicles. Organising campaigns to raise awareness of the dangers of these vehicles and giving this information to learner drivers appear to be the cornerstones of improvement.

In addition, the key objective of adding sound to EVs should not be forgotten, and the effectiveness of this measure should be evaluated when the number of vehicles increases, as it may not be as effective as was originally assumed. Even the efficiency of other non-acoustic technical measures, such as automatic braking systems, could be evaluated. In addition, future research should explore alternative non-acoustic measures and analyse the effectiveness of those that already exist, such as automatic braking systems.

Nevertheless, this difference in the level of risk between people who had experienced risk situations with EVs or HEVs and those who had not, was not found in a previous study carried out in the present project and focused on workers who drive EVs and HEVs [39]. Beyond this, interestingly, the level of risk generally reported was higher in the case of EV drivers [39] than in the case of pedestrians and ICE vehicle drivers. Furthermore, it should be noted that the percentage of electric vehicle drivers who had experienced risk situations was higher, reaching 62%. This could be caused by the longer uninterrupted exposure of electric vehicle drivers. In this research, it is important to remember that the people surveyed are workers who usually live with EVs or HEVs in their workplace, which may have influenced the moderate risk perception that this group has presented.

Regarding risk perception, the results show that, on the one hand, workers as pedestrians and ICE vehicle drivers considered that electric vehicles posed a higher risk for road users, since it is more difficult to notice the oncoming vehicle. However, they recognised that the silence of electric vehicles is pleasant. Similar results have been reported in several studies focussing on the risk perception of drivers [16,29,30]. On the other hand, the majority of respondents indicated that it is likely that pedestrians could be injured by electric vehicle because of the low noise level. Despite this, most acknowledged that they had not changed their way of moving

around the parking areas, garages and other company facilities, neither were they overly concerned that electric vehicle drivers could injure other road users due to low noise level. This transfer of responsibility or blame to the driver was also observed to a certain extent in this study. In this sense, Sandberg [6] indicates that the responsibility of avoiding a crash with a pedestrian traditionally falls on the driver. In addition, Sandberg [6] points out that adding sound to EVs and HEVs may cause the driver to transfer this responsibility to the pedestrian and other drivers, in the belief that they should hear the sound and be warned. As a result, this measure would be counterproductive.

According to Morgan [15], EVs and HEVs are mainly used in urban areas, an observation echoed in our study. With regard to high risk manoeuvres, Hanna [17] notes that crashes involving HEVs and pedestrians usually occur at very low speed, such as when vehicles are turning, slowing or stopping, backing up, or entering or leaving a parking space. Similarly, our results show that the reported risk situations took place at low speeds, particularly when vehicles were driving straight, and pedestrians were crossing the street or walking in parking areas. In addition, our findings reveal that semi-pedestrian zones shared with vehicles and pedestrians, but with pedestrian preference, can be considered special risk areas. These areas are becoming increasingly common in city centres.

In these locations, pedestrians are not fully alert to oncoming vehicles and this increases the risk.

Nevertheless, the low speed of the vehicles reduces the risk of serious injury.

In the comment box, pedestrians and ICE vehicle drivers expressed some aspects of special interest, such as the positive impact of EVs on the environment, which has already been

highlighted as a valued feature of these vehicles [41–43] and the predominantly positive attitudes towards EVs [28].

5. Limitations

The main limitations of this study are summarised below. Firstly, we had no data on the exposure time of pedestrians and ICE vehicle drivers. While it is known that during their working day they are in the same environment as EVs and HEVs, we do not know how often they encounter these vehicles. It seems likely that there is greater chance of exposure at the beginning and at the end of the working day, given the concentration of workers and vehicles in the same space and time due to shift change.

Secondly, there are limitations related to the sample. All participants work in public service companies in the city of Málaga, as mentioned above. Ideally, the scope of the study should be extended to include other cities and private companies. Widening the range of participants to pedestrians and ICE vehicle drivers not linked to any particular company would further improve the scope of the study. However, it is difficult to secure the participation of individuals frequently exposed to EVs and HEVs outside the corporate setting. Nevertheless, the number of EVs and HEVs is expected to increase significantly in the short term, and this would increase the feasibility of such an in-depth study.

Finally, the results obtained in this study are based on the self-reported perceptions of workers as pedestrians and ICE vehicle drivers, so we cannot rule out the element of subjectivity in their perception of reality and in their opinions. In addition, there is always the risk of recall bias when remembering risk situations with EVs or HEVs. That is, asking participants whether EVs might be dangerous because of low noise might have prompted them to think about situations

when they had a near miss with an EV or HEV. However, they may have had similar experiences with ICE vehicles that they have not considered in the same way.

6. Conclusions

The environmental benefits and silence of EVs and HEVs have once again been highlighted by workers as pedestrians and ICE vehicle drivers that have participated in this study. In line with the findings of other studies, pedestrians have reported difficulties in detecting the approach of EVs and HEVs, and therefore the risk associated with this danger becomes a reality. However, it seems this risk perception is moderate among workers who habitually coexist with these vehicles during their workday. In fact, the current low level of risk due to the low noise emissions of EVs and HEVs may be directly related to other factors, such as time spent on public roads and facilities, or the market penetration of EVs in urban areas. As expected, these risk situations usually occurred once or several times per year, with involvement of pedestrians and electric cars at low speeds in urban areas. They also highlight the existing risk when crossing the road or in semi-pedestrian areas.

Our findings suggest the need for measures aimed at eliminating or minimizing risk. As possible lines of research to be developed in the future, we understand that it is necessary to study in depth different solutions to minimise the risk due to the absence of noise from EVs and HEVs. Non-acoustic solutions have been ruled out by governments, but other types of measures could be adopted. In any case, it is essential also to analyse in future research how to teach drivers, pedestrians and other roads users to coexist with this new type of vehicle. In this sense, it is important for pedestrians to be aware that they can minimise the risk of being involved in a crash with a vehicle by observing road safety rules and taking precautions. We are facing a new scenario, where the increasing use of EVs and HEVs will compose an environment to which it

will be necessary to adapt. Large organisations are including fleets of EVs and HEVs in their vehicle fleet, which also opens up a field of research in relation to the occupational health and safety management. It is important that companies that have already purchased these types of vehicles are aware that such use may involve new risks. These companies must include this new situation in their risk assessments and establish the preventive measures that are necessary to eliminate or reduce them. It is therefore necessary to continue analysing the problem in order to help them do so properly.

Author Contributions: Conceptualisation, J.C.R.-R.; methodology, J.C.R.-R. and M.C.P.-F.; formal analysis, M.C.P.-F., J.A.T.-G. and C.d.l.H.-R.; investigation, J.C.R.-R. and M.C.P.-F.; resources, J.C.R.-R.; data curation, M.C.P.-F., J.A.T.-G. and C.d.l.H.-R.; writing—original draft preparation, M.C.P.-F., J.A.T.-G. and C.d.l.H.-R.; supervision, J.C.R.-R.; project administration, J.C.R.-R.; funding acquisition, J.C.R.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: Spanish Department of Traffic (DGT). Ref SPIP2015-01765.

Acknowledgments: This study is part of a larger project “Perception of experienced drivers of 2 and 4 wheel electric vehicles on the impact of the vehicle on road safety” (SPIP2015-01765) financed by the Spanish Department of Traffic (DGT). We are grateful to the City Council of Málaga, especially to LIMASA (Limpieza de Málaga Sociedad Anónima) and EMASA (Empresa Municipal de Aguas de Málaga Sociedad Anónima). Finally, it is important to recognise the support of the University of Málaga.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Appendix A

Table A1. Results of workers' responses to the items related to the perception of risk due to the low noise of EVs and HEVs.

Items	Number/Percentage							Percentage of Agreement	Mean/(Standard Deviation)
	Very Strongly Disagree (1)	Strongly Disagree (2)	Mostly Disagree (3)	Mostly Agree (4)	Strongly Agree (5)	Very Strongly Agree (6)	No Response		
1. Even though an electric vehicle is harder to hear,	88	13	20	74	40	75	1	45%	3.36
	21%	%	%	18%	10%	18%	0%	4.78	(1.74)

other
road
users
such as
pedestrian
s, other
drivers,
etc. are
not at
higher
risk

2. The

quietness
of an
electric
vehicle is
pleasing

53	35	53	34	49	186	7	65%	4.34
13%	8%	13	8%	12%	45%	2%	4.59	(1.86)
		%						

3. It is

very
improbabl

	49	80		37		14	41%	3.19
105	12	19	68		64			
25%	%	%	16%	9%	15%	3%	4.71	(1.76)

e that
 electric
 vehicle
 drivers
 could
 injure
 pedestrian
 s in a
 crash due
 to low
 noise

4. I had to

change
 my way
 of
 walking
 around
 the
 parking
 areas,

garages		54	76						
and other	131	13	18	70	24	43	19	33%	2.83
areas of	31%	%	%	17%	6%	10%	5%	4.51	(1.68)

the
 company
 due to the
 lack of
 noise of
 the
 electric
 vehicle

5. I am
 very
 concerne
 d that
 drivers
 of
 electric
 vehicles
 could
 injure
 other
 road

users in		66	68						
a crash	105	16	16	77	52	46	3	42%	3.10
due to	25%	%	%	18%	12%	11%	1%	4.74	(1.69)

the low									
noise									
level									

6. I would									
not mind									
if my									
electric									
vehicle									
had an									
idle noise									
so that									
others									
could hear									
it at any									
time									
(while									
parked									
with		51	72						
engine	81	12	17	71	44	93	5	50%	3.55
on)	19%	%	%	17%	11%	22%	1%	4.80	(1.80)

References

1. International Energy Agency. *Global EV Outlook 2018. Towards Cross-Modal Electrification*; IEA: Paris, France, 2018.

2. International Energy Agency. *Global EV Outlook 2020. Entering the Decade of Electric Drive*; IEA: Paris, France, 2020.
3. European Environment Agency. *Electric Vehicles in Europe*. Available online: [https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1a4a941c-9a8d-11e6-9bca-01aa75ed71a1/ language-en](https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1a4a941c-9a8d-11e6-9bca-01aa75ed71a1/language-en) (accessed on 10 September 2020).
4. Lee, S.K.; Lee, S.M.; Shin, T.; Han, M. Objective evaluation of the sound quality of the warning sound of electric vehicles with a consideration of the masking effect: Annoyance and detectability. *Int. J. Automot. Technol.* **2017**, *18*, 699–705. [CrossRef]
5. Owen, J.M. Quiet vehicle avoidance systems for blind and deaf-blind pedestrians. Available online: <http://citeseerx.ist.psu.edu/messages/downloadsexceeded.html> (accessed on 10 September 2020).
6. Poveda-Martínez, P.; Peral-Orts, R.; Campillo-Davo, N.; Nescolarde-Selva, J.; Lloret-Climent, M.; Ramis-Soriano, J. Study of the effectiveness of electric vehicle warning sounds depending on the urban environment. *Appl. Acoust.* **2017**, *116*, 317–328. [CrossRef]
7. Sandberg, U. Adding noise to quiet electric and hybrid vehicles: An electric issue. *Acoust. Aust.* **2012**, *40*, 3.
8. Garay-Vega, L.; Hastings, A.; Pollard, J.K.; Zuschlag, M.; Stearns, M.D. *Quieter Cars and the Safety of Blind Pedestrians: Phase I*; National Highway Traffic Safety Administration: Washington, DC, USA, 2010.
9. Mendonça, C.; Freitas, E.; Ferreira, J.P.; Raimundo, I.D.; Santos, J.A. Noise abatement and traffic safety:

The trade-off of quieter engines and pavements on vehicle detection. *Accid. Anal. Prev.* **2013**, *51*, 11–17. [CrossRef]

10. Wogalter, M.S.; Ornan, R.N.; Lim, R.W.; Chipley, M.R. On the risk of quiet vehicles to pedestrians and drivers. *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet* **2001**, *45*, 1685–1688. [\[CrossRef\]](#)
11. Maffei, L.; Masullo, M.; Sorrentino, F.; Di Gabriele, M. Preliminary studies on the relation between the audio-visual cues' perception and the approaching speed of electric vehicles. *J. Acoust. Soc. Am.* **2013**, *134*, 3978. [\[CrossRef\]](#)
12. Stelling-Kon´czak, A.; Hagenzieker, M.; Commandeur, J.J.F.; Agterberg, M.J.H.; van Wee, B. Auditory localisation of conventional and electric cars: Laboratory results and implications for cycling safety. *Transp. Res. Part F. Traffic Psychol. Behav.* **2016**, *41*, 227–242. [\[CrossRef\]](#)
13. Barton, B.; Lew, R.; Kovesdi, C.; Cottrell, N.; Ulrich, T. Developmental differences in auditory detection and localization of approaching vehicles. *Accid. Anal. Prev.* **2013**, *53*, 1–8. [\[CrossRef\]](#)
14. Whitebread, D.; Neilson, K. The contribution of visual search strategies to the development of pedestrian skills by 4-11 year-old children. *Br. J. Educ. Psychol.* **2000**, *70*, 539–557. [\[CrossRef\]](#)
15. Morgan, P.A.; Morris, L.; Muirhead, M.; Walter, L.K.; Martin, J. Assessing the perceived safety risk from quiet electric and hybrid vehicles to vision-impaired pedestrians. *TRL Publ. Proj. Rep.* **2011**, 1–74.
16. Cocron, P.; Krems, J.F. Driver perceptions of the safety implications of quiet electric vehicles. *Accid. Anal. Prev.* **2013**, *58*, 122–131. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

17. NHTSA. Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles. Available online: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/811204> (accessed on 30 July 2020).
18. Verheijen, E.; Jabben, J. *Effect of Electric Cars on Traffic Noise and Safety*; National Institute for Public Health and the Environment: Bilthoven, The Netherlands, 2010.
19. JASIC. *A Study on Approach Warning Systems for Hybrid Vehicle in Motor Mode*; Informal Document: Geneva, Switzerland, 2009.
20. Misdariis, N.; Cera, A. Sound signature of Quiet Vehicles: State of the art and experience feedbacks.

In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*; Institute of Noise Control Engineering: Washington, DC, USA, 2013; pp. 3333–3342.
21. Ashmead, D.H.; Grantham, D.W.; Maloff, E.S.; Hornsby, B.; Nakamura, T.; Davis, T.J.; Pampel, F.; Rushing, E.G. Auditory perception of motor vehicle travel paths. *Hum. Factors* **2012**, *54*, 437–453. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Dudenhöffer, K.; Hause, L. Sound perception of electric vehicles. *ATZ Worldw.* **2012**, *114*, 46–50. [[CrossRef](#)]
23. Emerson, R.W.; Naghshineh, K.; Hapeman, J.; Wiener, W. A pilot study of pedestrians with visual impairments detecting traffic gaps and surges containing hybrid vehicles. *Transp. Res. Part F. Traffic Psychol. Behav.* **2011**, *14*, 117–127. [[CrossRef](#)]
24. Garay-Vega, L.; Pollard, J.; Guthy, C.; Hastings, A. Auditory detectability of hybrid electric vehicles by blind pedestrians. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* **2011**, *2248*, 68–73. [[CrossRef](#)]

25. Goodes, P.; Bai, Y.B.; Meyer, E. Investigation into the Detection of a Quiet Vehicle by the Blind Community and the Application of an External Noise Emitting System. In *SAE 2009 Noise and Vibration Conference and Exhibition*; SAE International: Troy, MI, USA, 2009.
26. Singh, S. Understanding and Improving Methods for Exterior Sound Quality Evaluation of Hybrid and Electric Vehicles. Ph.D. Thesis, University of Warwick, Coventry, UK, 2016.
27. Walker, I.; Kennedy, J.; Martin, S.; Rice, H. How might people near national roads be affected by traffic noise as electric vehicles increase in number? A laboratory study of subjective evaluations of environmental noise. *PLoS ONE* **2016**, *11*, e0150516. [[CrossRef](#)]
28. Cocron, P.; Bühler, F.; Neumann, I.; Franke, T.; Krems, J.F.; Schwalm, M.; Keinath, A. Methods of evaluating electric vehicles from a user's perspective—The MINI E field trial in Berlin. *IET Intell. Transp. Syst.* **2011**, *5*, 127–133. [[CrossRef](#)]
29. Hoogeveen, L.V.J. Road Traffic Safety of Silent Electric Vehicles. Master's Thesis, Utrecht Universiteit, Heidelberglaan, The Netherlands, 2010.
30. Labeye, E.; Hugot, M.; Brusque, C.; Regan, M.A. The electric vehicle: A new driving experience involving specific skills and rules. *Transp. Res. Part F. Traffic Psychol. Behav.* **2016**, *37*, 27–40. [[CrossRef](#)]
31. Fastl, H.; Kerber, S. Effects of partial masking for vehicle sounds. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*; Institute of Noise Control Engineering: Washington, DC, USA, 2016; Volume 253, pp. 519–524.
32. Kerber, S. The importance of vehicle exterior noise levels in urban traffic for pedestrian—Vehicle interaction. *ATZ Worldw.* **2006**, *108*, 19–21. [[CrossRef](#)]
33. Kerber, S.; Fastl, H. Prediction of perceptibility of vehicle exterior noise in background noise. *Fortschr. Akust.* **2008**, *II*, 623–624.

34. Parizet, E.; Ellermeier, W.; Robart, R. Auditory warnings for electric vehicles: Detectability in normal-vision and visually-impaired listeners. *Appl. Acoust.* **2014**, *86*, 50–58. [[CrossRef](#)]
35. Tabata, T.; Konet, H.; Kanuma, T. Development of Nissan Approaching Vehicle Sound for Pedestrians. Available online: <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/22/files/22ESV-000097.pdf> (accessed on 10 September 2020).
36. Yamauchi, K.; Menzel, D.; Takada, M.; Nagahata, K.; Iwamiya, S.; Fastl, H. Psychoacoustic examination of feasible level of additional warning sound for quiet vehicles. *Acoust. Sci. Technol.* **2015**, *36*, 120–125. [[CrossRef](#)]
37. European Union. Regulation (EU) No 540/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC 2014. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2014/540/oj> (accessed on 30 July 2020).
38. National Highway Traffic Safety Administration. Minimum Sound for Hybrid and Electric Vehicles. Docket No. 2018 NHTSA-2018-0018. Available online: <https://www.federalregister.gov/documents/2018/02/26/2018-03721/federal-motor-vehicle-safety-standard-no-141-minimum-sound-requirements-for-hybridand-electric> (accessed on 10 September 2020).
39. Pardo-Ferreira, M.C.; Rubio-Romero, J.C.; Galindo-Reyes, F.C.; Lopez-Arquillos, A. Work-related road safety: The impact of the low noise levels produced by electric vehicles according to experienced drivers. *Saf. Sci.* **2020**, *121*, 580–588. [[CrossRef](#)]

40. Rundmo, T.; Iversen, H. Risk perception and driving behaviour among adolescents in two Norwegian counties before and after a traffic safety campaign. *Saf. Sci.* **2004**, *42*, 1–21. [\[CrossRef\]](#)
41. Graham-Rowe, E.; Gardner, B.; Abraham, C.; Skippon, S.; Dittmar, H.; Hutchins, R.; Stannard, J. Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: A qualitative analysis of responses and evaluations. *Transp. Res. Part Policy Pract.* **2012**, *46*, 140–153. [\[CrossRef\]](#)
42. Peters, A.; Dütschke, E. How do Consumers perceive electric vehicles? A comparison of german consumer groups. *J. Environ. Policy Plan.* **2014**, *16*, 359–377. [\[CrossRef\]](#)
43. Rezvani, Z.; Jansson, J.; Bodin, J. Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda. *Transp. Res. Part Transp. Environ.* **2015**, *34*, 122–136. [\[CrossRef\]](#)



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative

Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).