

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



"DETECTABILIDAD SONORA EN
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS"

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre -2020

AUTOR: Daniel Quereda Gomis

DIRECTOR/ES: Héctor Campello Vicente



ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. OBJETIVOS.....	7
4. MÉTODO	9
4.1. FUENTES DE RUIDO EN LOS VEHÍCULOS TRADICIONALES.....	9
4.1.1. Ruido generado por el motor de combustión.....	10
4.1.2. Ruido generado por la transmisión	11
4.1.3. Ruido de escape y admisión del aire	11
4.1.4. Ruido aerodinámico	12
4.1.5. Ruido de rodadura	13
4.1.6. Ruido generado por el sistema de frenado	23
4.2. FUENTES DE RUIDO EN LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	14
4.3. MUESTRA.....	22
4.4. VARIABLES E INSTRUMENTOS	22
4.4.1. Sonidos de advertencia	16
4.4.2. Principales variables emocionales	18
4.4.3. Instrumentos del estudio.....	20
4.5. PROCEDIMIENTO	22
4.6. ANÁLISIS DE DATOS.....	27
5. RESULTADOS	29
5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	29
5.2. RANKING SONIDOS	31
5.3. TIEMPO DE REACCIÓN	32
5.4. AMBIENTE.....	36
5.5. ESTUDIO PARTICULAR DE DISCRIMINACIÓN PARA SONIDOS EN LOS DISTINTOS AMBIENTES: PROBLEMAS DE VISIÓN	40
5.5.1. Ambiente 1	40

5.5.2. Ambiente 2	44
5.5.3. Ambiente 3	51
5.6. ESTUDIO PARTICULAR DE DISCRIMINACIÓN PARA SONIDOS EN LOS DISTINTOS AMBIENTES: PROBLEMAS DE AUDICIÓN	55
5.6.1. Ambiente 1	55
5.6.2. Ambiente 2	58
5.6.3. Ambiente 3	60
6. DISCUSIÓN.....	62
7. BIBLIOGRAFÍA.....	65



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes de ruido	10
Figura 2. Fases de un motor de 4 tiempos	10
Figura 3. Esquema de un sistema de transmisión de un motor delantero con tracción delantera	11
Figura 4. Tiempos de un motor de combustión y flujo creado en su interior	12
Figura 5. Flujo de aire a través de un turismo convencional	12
Figura 6. Componentes del neumático	13
Figura 7. Esquema interacción neumático- carretera	13
Figura 8. Sistema de freno mediante pinza	14
Figura 9. Principales fuentes sonoras de un vehículo eléctrico	14
Figura 10. Gráfico género de la muestra	15
Figura 11. Gráfico de videntes e invidentes.....	15
Figura 12. Gráfico personas con problemas de audición frente a las que no lo presentan	15
Figura 13. Representación gráfica del comportamiento frecuencial de los sonidos anteriormente descritos frente a los decibelios (dB-A).....	17
Figura 14. Imagen correspondiente con el software usado para el estudio donde se muestran los datos que se le pidieron a cada uno de los participantes	20
Figura 15. Gafas utilizadas para anular la visión del participante	21
Figura 16. Teclado utilizado para señalar cuando se detecta el EV acercarse hacia el participante	21
Figura 17. Pulsioxímetro	23
Figura 18. Módulo Arduino	23
Figura 19. Electrodo para la toma de datos GSR	23
Figura 20. Interfaz del software donde se describen las instrucciones del ensayo expuesta a los participantes durante la realización del ensayo	24
Figura 21. Participantes realizando el ensayo de detectabilidad	25
Figura 22. Interfaz del software para la reproducción de los ejemplos de sonidos de advertencia de los EV y el sonido ambiente	25

Figura 23. Representación gráfica de la simulación de la prueba de detectabilidad donde existe una pista de 60 metros en la cual el participante se encuentra en la mitad	26
Figura 24. Representación gráfica del número de participantes para los distintos porcentajes de agudeza visual siendo el 100% el máximo. Ojo derecho.....	30
Figura 25. Representación gráfica del número de participantes para los distintos porcentajes de agudeza visual siendo el 100% el máximo. Ojo izquierdo	30
Figura 26. Tiempo reacción ambiente 1	34
Figura 27. Tiempo reacción ambiente 2	35
Figura 28. Tiempo reacción ambiente 3	35
Figura 29. Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 1 (se cumple)	38
Figura 30. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 1 (se cumple)	38
Figura 31. Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (se cumple)	38
Figura 32. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (se cumple)	38
Figura 33. Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 3 (no se cumple)	39
Figura 34. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 3 (se cumple)	39
Figura 35. Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (no se cumple). refLL	45
Figura 36. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (no se cumple). refLL	45
Figura 37. Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (se cumple). motorgear	45
Figura 38. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (se cumple) motorgear	45
Figura 39. Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (se cumple) RP1	46

Figura 40. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (no se cumple) RP1.....	46
Figura 41. Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (se cumple) RP2	46
Figura 42. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (no se cumple) RP2.....	47
Figura 43. Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (no se cumple) stimulus7.....	47
Figura 44. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (se cumple) stimulus7	47
Figura 45. Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (se cumple) stimulus3	47
Figura 46. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (no se cumple) stimulus3.....	47
Figura 47. Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (no se cumple) C1 con WS.....	48
Figura 48. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 cumple (se cumple) C1 con WS	48
Figura 49. Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (no se cumple) C1 sin WS.....	48
Figura 50. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (no se cumple) C1 sin WS.....	48
Figura 51. Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 3 (se cumple) C1 con WS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estadísticos de Tendencia Central - Molestia	31
Tabla 2. Tiempo de Reacción. Videntes	32
Tabla 3. Tiempo de Reacción. Invidentes.....	33
Tabla 4. Correlación Spearman para los ambientes	36
Tabla 5. Resultados t-Student para los ambientes	37
Tabla 6. Prueba de rachas. Ambientes.....	39
Tabla 7. Supuesto de normalidad para el ambiente 1 (prueba Shapiro-Wilk). Problema de visión.....	42
Tabla 8. Prueba de rachas para el ambiente 1	42
Tabla 9. Resultados t-Student Ambiente 1. Problema de visión	43
Tabla 10. Tamaño del efecto. Ambiente 1. Problema de visión	44
Tabla 11. Prueba de rachas para el ambiente 2	49
Tabla 12. Resultados t-Student Ambiente 2. Problema de visión	50
Tabla 13. Tamaño del efecto. Ambiente 2. Problema de visión	51
Tabla 14. Supuesto de normalidad para el ambiente 3 (Shapiro-Wilk). Problema de visión.....	52
Tabla 15. Prueba de rachas para el ambiente 3	53
Tabla 16. Resultados t-Student Ambiente 3. Problemas visión	54
Tabla 17. Supuesto de normalidad para el ambiente 1 (Shapiro-Wilk). Problemas audición.....	55
Tabla 18. Tamaño del efecto	56
Tabla 19. Resultados t-Student Ambiente 1. Discapacidad Auditiva	57
Tabla 20. Supuesto de normalidad para el ambiente 2 (Shapiro-Wilk). Problemas audición.....	58
Tabla 21. Resultados t-Student Ambiente 2. Discapacidad Auditiva.....	59
Tabla 22. Supuesto de normalidad para el ambiente 3 (Shapiro-Wilk). Problemas audición.....	60
Tabla 23. Resultados t-Student Ambiente 3. Discapacidad Auditiva.....	61



1. RESUMEN

En España, mediante el proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética (PLCCTE) [2] se espera que a partir del 2040 sea escasa la venta de vehículos de combustión junto a los híbridos para solucionar el problema de polución, lo que implica que los vehículos eléctricos (EVs) sean el futuro de la movilidad, reduciendo la contaminación de gases nocivos. Sin embargo, este tipo de vehículos presenta un 18% más de probabilidades de verse involucrado en un accidente con un peatón Hanna [10]. Este estudio tiene como objetivo cuantificar la idoneidad de una serie de sonidos de alerta estudiados por el laboratorio de la universidad Miguel Hernández de Elche de cara a ser añadidos a vehículos eléctricos, conforme a la normativa europea [14] con el fin de aumentar la detectabilidad de los vehículos eléctricos por parte de los peatones. El estudio se llevó a cabo con un total de 46 participantes videntes (n=26) e invidentes (n=20) y se analizó exhaustivamente un total de 8 sonidos bajo los criterios de molestia, a nivel psicológico, tiempo de reacción y la discriminación poblacional como las personas con problemas de visión y personas con problemas de audición.

Palabras clave: Tiempo de reacción, vehículo eléctrico, invidentes, respuesta adaptativa y sonido de advertencia.

2. INTRODUCCIÓN

Actualmente, existe una preocupación por el medio ambiente en la población mundial debido a los gases de efecto invernadero emitidos por las actividades que desempeña el ser humano. Estos efectos se dejan sentir por todo el globo y se prevé que cada vez se intensifiquen con el tiempo.

En septiembre del 2019, un estudio elaborado por las empresas ClicKoala y Empírica Influentials and Research (2019) [1] concluyó que el 67% de la población española reconoce que es un problema muy preocupante, donde la cifra aumenta hasta un 78% en el caso de los jóvenes de 16 a 30 años. Es por ello que, en búsqueda de la reducción de dichos gases, se esté fomentando una nueva forma de movilidad que deje atrás emisiones contaminantes como es el caso de los vehículos electrificados.

Los vehículos eléctricos e híbridos (en adelante EVs y HEVs) están llamados a ser el futuro de la movilidad gracias a que se eliminan las emisiones de gases a la atmósfera en su uso, así como la reducción del ruido en áreas urbanas. En España, mediante el proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética (PLCCTE) [2] se espera que a partir del 2040 se reduzca la venta de vehículos diésel, gasolina e híbridos. No se prohibirá su venta, pero si se impulsarán medidas para que desaparezca y así solucionar el problema de polución.

El uso de los sistemas de propulsión eléctrica presenta numerosas ventajas medioambientales ya que no tan solo se trata de la disminución de contaminación de gases perjudiciales, sino que también existe una reducción sonora en ambientes urbanos. Una de las principales diferencias entre vehículos de combustión interna y eléctricos es el sonido a velocidades bajas, generalmente hasta 30 km/h el EV emite un sonido de 5 a 7 dB (A) por debajo de un vehículo convencional, Campello [3] lo que supone un beneficio para la población que vive en áreas urbanas.

La ENS (Escuela Nacional de Sanidad) [4] realizó un estudio sobre los efectos del ruido urbano en la salud y concluyó que el ruido en una gran ciudad es un problema de salud pública cuyos efectos son, al menos, similares e independientes de los de la contaminación química.

La diferencia entre ambos sistemas de propulsión electrificada de vehículos plantea serias dudas sobre la seguridad vial tanto para ciclistas como para peatones, además de la población más vulnerable como los niños, personas con problemas de visión y los mayores.

Kerber [5] estudió la problemática de los accidentes de peatones y expone que los tiempos de reacción de una persona atenta son de 0,7 s y para aquellas personas cuya atención es alterada por una distracción su tiempo de reacción en este caso oscila sobre 1,5 s. En base a esto debe de garantizarse un comportamiento acústico tanto en el exterior del vehículo como en su interior que permita reaccionar con tiempo a los peatones.

El estudio realizado por Lelong y Michelet [6] sobre los EVs y HEVs a velocidades bajas muestra que los vehículos resultan silenciosos frente a los vehículos diésel o gasolina debido al casi inexistente sonido emitido por el motor eléctrico y al insuficiente ruido generado por el neumático en rodadura por el asfalto. Los diferentes ruidos de los vehículos empiezan a igualarse a los 30 km/h, Campello. [3] donde el sonido de rodadura comienza a ser dominante.

Tournier, Dommès y Cavallo [7] revisaron los problemas de los mayores en los principales componentes de la actividad peatonal, en las que se encuentra la negociación del cruce de carreteras. Estos indican que en Italia, Grecia y Francia más de la mitad de los peatones que fallecen en carreteras son mayores de 65 años, donde alrededor del 30 - 75% de mayores de 75 años presentan una pérdida auditiva significativa.

Uno de los colectivos más perjudicados por la ausencia de sonido de los automóviles eléctricos son la gente visión reducida o nula. Los peatones invidentes utilizan el sonido del tráfico para orientarse a la hora de decidir cruzar una calle. El aumento de vehículos eléctricos e híbridos, además el aumento de personas con dificultades de visión (Eye Diseases Prevalence. Research Group, 2004) [8] aumenta el problema de seguridad.

Goodes, Bai y Meyer [9] realizaron un estudio con invidentes para medir y estandarizar un procedimiento de pruebas para cuantificar el ruido producido de manera artificial en HEVs para detectarlo concluyendo la importancia de integrar

dicho colectivo ya que se encontraron diferencias a la hora de percibir los sonidos.

Por otro lado, un estudio de la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) y elaborado por Hanna [10] determinó que los vehículos híbridos y eléctricos tenían un 18% más de probabilidad de estar involucrados en un accidente con peatones que un vehículo de combustión. Con esos resultados, la NHTSA propuso una regulación para los requisitos mínimos de sonido para los vehículos eléctricos e híbridos, Dalrymple [11].

La Mejora de la Seguridad Vial (OMS) [12] describe la problemática de los vehículos silenciosos (EVs y HEVs) para los peatones con problemas de visión. El problema trata de resolverlo indicando la necesidad de adicionar algún tipo de sonido a dichos vehículos. En España esta regulación donde se reconoce la desventaja de las personas con discapacidad se recoge en el BOE-A-2010-4057 con Orden Orden VIV/561/2010 [13].

Los estudios Geruschat y Hassan, 2005; Guth, Ashmead, Long, Wall y Ponchillia, 2005; Schroeder, Roupail y Wall Emerson, 2006; Wall Emerson, Naghshineh, Hapeman y Wiener, 2011 [14] examinan las decisiones de los peatones invidentes para cruzar las calles durante los espacios en el tráfico. Las investigaciones, concluyeron que los invidentes generalmente experimentan unas dificultades a la hora de tomar decisiones sobre el cruce de calles. Otra problemática existente, se debe a que los conductores no suelen ceder el paso de manera confiable para los peatones invidentes (Geruschat y Hassan, 2005) [15], e incluso cuando los conductores ceden el paso a los peatones con problemas de visión pueden tener dificultades en detectar de manera confiable si es posible o no realizar el cruce.

Debido a la situación que presentan los vehículos de propulsión electrificada, se estudia introducir sonidos artificiales de advertencia para que los peatones sean capaces de detectar la aproximación de dichos vehículos. El fabricante de vehículos japonés Nissan (junto a Renault) fue uno de los pioneros en el uso de una alerta acústica artificial con el proyecto eVADER [16].

Con el lanzamiento del Nissan Leaf en 2010, el vehículo japonés contaba con un sistema denominado VSP, disponía de un sonido artificial que advertía a

velocidades bajas realizados por Konet, Sato, Schiller, Christensen, Tabata, y Kanuma (2011) [17]. La Unión Europea financió entre 2010 y 2014 un proyecto denominado eVADER realizado por un consorcio formado por universidades, institutos de investigación, fabricantes de vehículos liderado por Renault y Nissan, que ya disponía de una tecnología propia VSP. El proyecto concluyó que, a velocidades bajas el vehículo emite un sonido artificial cuando este se encuentra en movimiento, tanto hacia delante como marcha atrás. El sistema eVADER es una sofisticada tecnología compuesta por cámaras capaz de identificar en el entorno estímulos como son los peatones y ciclistas permitiendo emitir dicho sonido de alerta al detectarlos por Robart, Parizet, Chamard, Janssens y Bian-cardi (2013) [18] y posteriormente continuaron con el estudio con Parizet, Robart, Ellermeier, Janssens y Biancardi (2014) [19].

Con el fin de resolver esta problemática, se redactó una legislación por parte de la Unión Europea en material de movilidad y seguridad vial (2014) [20] que obliga incorporar desde el 1 de julio de 2019 a los EVs y HEVs de nueva homologación el sistema AVAS por sus siglas en inglés (Acoustic Vehicle Alerting Systems), realizando así un sonido de forma artificial a través de unos altavoces a velocidades inferiores de 20 km/h. También debe emitir sonido cuando el vehículo circula marcha atrás. Cumpliendo con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el ruido emitido no deberá de superar los 53 dB (A) durante el periodo diurno, mientras que el periodo nocturno no deberá superar los 45 dB (A). Esta legislación sobre la implantación de los sonidos artificiales será de obligatorio cumplimiento en Europa a partir del 1 de julio del 2021.

Es por ello que los sonidos artificiales deben emitirse en unas condiciones óptimas para que sean percibidos en el menor tiempo posible Altinsoy y Landgraf (2014) [21]. La percepción del sonido se produce cuando las ondas emitidas por el sonido entran a nuestro oído y hacen que se muevan hacia delante y atrás las células ciliadas. Estas células transforman el movimiento en señales eléctricas que llegan hasta el cerebro donde se procesan en cuestión de segundos. La calidad de la audición de las personas dependerá de cómo se encuentren dichas células y la composición que forma el oído. Por tanto, las personas invidentes físicamente no escuchan mejor que los videntes. Si que existe una mayor

capacidad de procesar la información debido a que en el cerebro, la zona del córtex visual no puede realizar sus funciones debido a no le llega información visual. Es por lo que el cerebro se reorganiza pudiendo ser más sensible como se demuestra con unos ensayos realizados mediante resonancias magnéticas por las universidades de Universidad de Washington y de la Universidad de Oxford por Huber, Chang, Álvarez, Hundle, Bridge y Fine [22].

Una de las variables indispensables a la hora de la detección de los sonidos es el tiempo de reacción (TR), una faceta muy importante a la hora de detectar la aproximación de un vehículo. Diversos estudios como el realizado por Ashoke, Skikha y Sudarsan (2010) [23] lo sitúan entre los 8 y 10 milisegundos (ms) desde que el oído percibe el sonido en forma de onda y lo envía al cerebro en forma de impulso.

Otro aspecto a tener en cuenta radica en la variedad de ambientes en los que las personas percibimos los estímulos. Existen variables como la experiencia, la familiaridad, la interpretación emotiva que se asigna al estímulo o incluso el ruido y otras alteraciones que pueden dar lugar a una percepción totalmente distinta Tudela-Garmendia (2015) [24].

La Universidad Miguel Hernández de Elche se encuentra involucrada en un estudio financiado por el Gobierno de la Generalitat Valenciana sobre la detectabilidad los vehículos eléctricos e híbridos, donde se busca que sean capaces de incorporarse a nuestras calles sin que sea ningún impedimento para aquellas personas más desfavorables.

3. OBJETIVOS

Siguiendo la investigación previa realizada y las incógnitas encontradas durante la revisión bibliográfica, a continuación, se procede a describir los objetivos de la presente investigación, así como, las hipótesis esperadas.

En primer lugar, este proyecto tiene como objetivo general encontrar el mejor sonido para los vehículos eléctricos e híbridos dentro del catálogo disponible el Laboratorio de Acústica y Vibraciones de la Universidad Miguel Hernández de Elche, que garantice la seguridad vial de los peatones teniendo en cuenta diferentes variables y parámetros de interés.

En cuanto a los objetivos específicos, buscar la conexión existente entre la emoción y el comportamiento de los peatones, y la detectabilidad de los sonidos a estudio. Por ello, se plantea la siguiente hipótesis:

1.- La conexión entre los factores psicológicos y la detectabilidad será positiva, es decir, ambos parámetros serán capaces de seleccionar de forma conjunta el sonido idóneo.

Seguidamente, otro objetivo específico radica en detectar aquel sonido con el menor tiempo de reacción tras la presencia del estímulo auditivo. Así, se presenta la siguiente hipótesis:

2.- Los sonidos que más se asemejan a los vehículos de combustión interna presentarán un menor tiempo de reacción debido a la experiencia previa de los sujetos.

En cuanto al contexto en el que se emite el sonido surge el siguiente objetivo específico. Encontrar el sonido que presente una detectabilidad asociada independiente al ambiente en el que se encuentra. La hipótesis de dicho objetivo es:

3.- El ambiente será totalmente independiente al tiempo de reacción de cada uno de los sonidos.

El siguiente objetivo específico pretende encontrar aquel sonido que sea capaz de no discriminar entre las diferentes poblaciones estudiadas. Las hipótesis que surgen a raíz de dicho objetivo son:

4.- No se encontrarán diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de reacción entre personas con problemas de visión y personas con una visión normal.

5.- Las personas con problemas de audición tendrán un mayor tiempo de reacción que aquellas que poseen una audición normal.

Por todo ello, se lleva a cabo este estudio con una metodología específica mostrada en el siguiente apartado con el fin de investigar e indagar la respuesta de las hipótesis planteadas.



4. MÉTODOLOGÍA

En este apartado se pretende conocer los sonidos a estudio y como se abordan durante el estudio. Para ello, se explican cuales son las principales fuentes de sonido que poseen los vehículos de combustión que no se encuentran en los EV y los HEV.

Por otra parte, se describen los sonidos que se emplean en este proyecto los cuales se someten a una prueba de detectabilidad ante los participantes. Estos participantes son colaboradores tanto de la Universidad como voluntarios de la Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE).

Para el estudio, se emplea un Software que es el encargado de recopilar los datos de los participantes durante la prueba. Este programa se describe en el apartado 4.4.3.

4.1. FUENTES DE RUIDO EN LOS VEHÍCULOS TRADICIONALES

Los vehículos de combustión en la actualidad cada vez poseen mayores prestaciones lo que conlleva que sean más potentes, rápidos y ligeros. Estos aumentos de prestaciones llevan asociados unos aumentos de niveles de ruido y vibraciones que se generan en su interior.

Las principales fuentes de ruido para estos vehículos de combustión son:

- Motor de combustión.
- Ruido generado por la transmisión
- Escape y admisión del aire.
- Ruido aerodinámico.
- Ruido de rodadura.
- Sistema de frenado.



Figura 1.- Fuentes de ruido

4.1.1. Ruido generado por el motor de combustión

El ruido generado por el motor es fruto de los procesos que se realizan en su interior, la combustión genera un ruido debido a las fuerzas generadas por el aumento brusco de presión sobre el cilindro, dando lugar a grandes cargas de presión que se liberan en los pistones, provocando el aumento de movimiento de estos generando una gran velocidad. Estas fuerzas descritas combinadas con la inercia del movimiento y el desbalanceo de las piezas, provoca que exista una vibración en el motor convirtiendo el motor en la fuente principal de sonido que emite un vehículo de combustión.

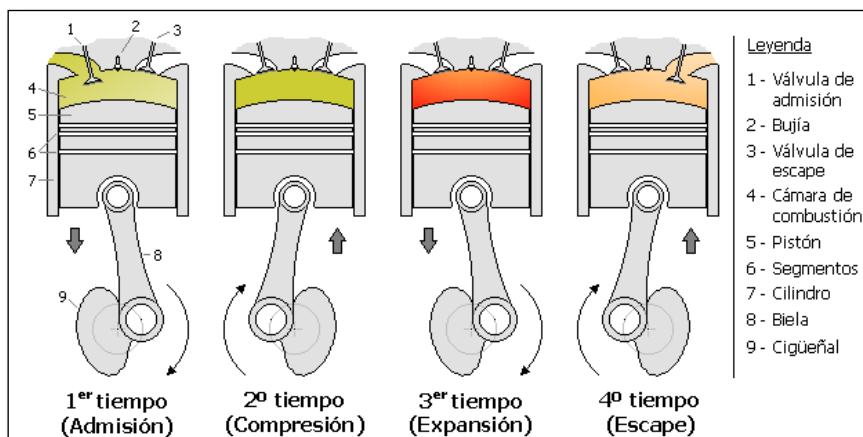


Figura 2.- Fases de un motor de 4 tiempos

4.1.2. Ruido generado por la transmisión

El ruido que generado por la transmisión aumenta conforme lo hace la velocidad del vehículo. Si se aumenta el doble la potencia mecánica, este ruido generado por la transmisión aumenta entre unos valores de 2,4 y 4 dB.

El sistema ideal de transmisión sería aquel que funcionando a velocidades constantes sería capaz de transmitir la potencia sin ruido ni vibraciones. En la práctica, esto no sucede ya que existen errores a la hora de diseñar y producir la pieza tanto en los dientes como en el perfil y la distancia entre ellos. También se deben a posibles excentricidades del eje, siendo estas generadoras de vibraciones no deseadas.

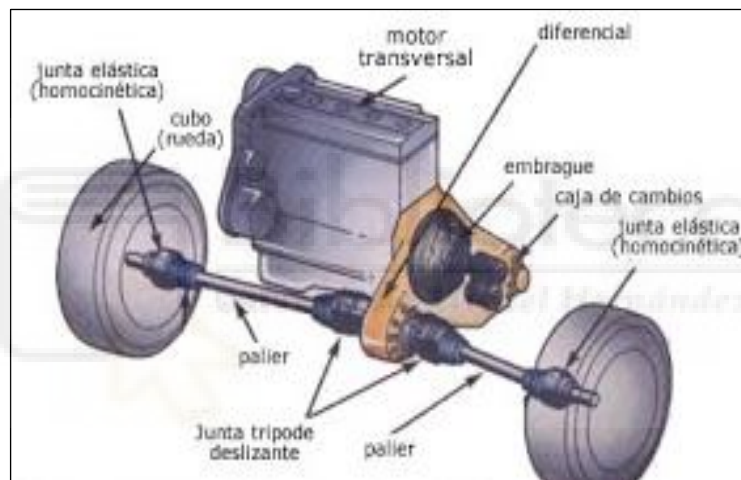


Figura 3.- Esquema de un sistema de transmisión de un motor delantero con tracción delantera

4.1.3. Ruido de escape y admisión del aire

El ruido que generan la admisión se debe a los cortes periódicos en el flujo de aire a través de las válvulas de admisión del propio motor, este flujo crea unos pulsos de presión sobre los tubos de admisión. Estos pulsos, son los que se convierten en el ruido y se transmiten a través del filtro de aire y resto de conductos de la admisión. Este ruido aumenta de modo que el motor aumenta sus revoluciones incrementando entre 10 y 15 dB desde un estado de reposo del motor hasta su nivel de rendimiento máximo.

El ruido de escape se produce tras la liberación de los gases generados en pistón, mediante las válvulas de escape cuando se realiza la fase de apertura y cierre.

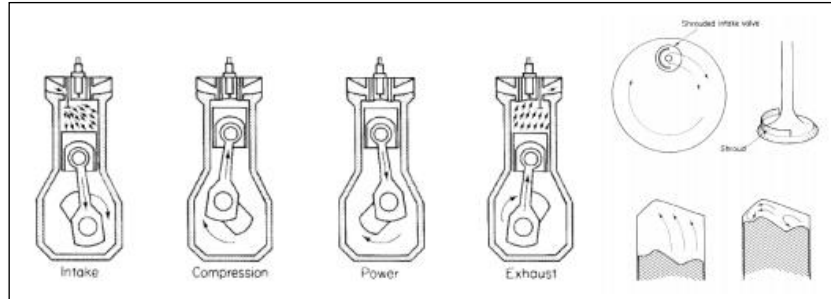


Figura 4.- *Tiempos de un motor de combustión y flujo creado en su interior*

4.1.4. Ruido aerodinámico

Existe una parte del ruido aerodinámico que se genera por los conductos de aireación y/o ventilación hacia el propio interior del turismo, pero el ruido aerodinámico con mayor molestia se produce por el flujo externo alrededor del vehículo.

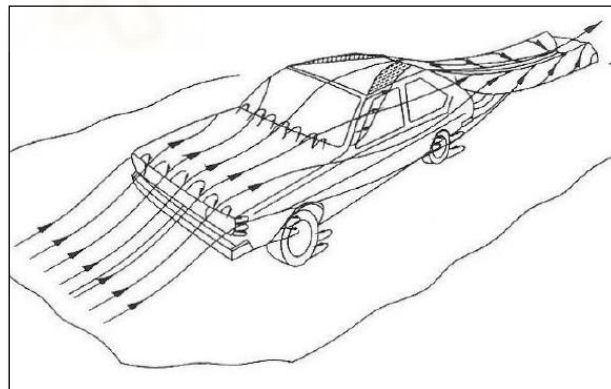


Figura 5.- *Flujo de aire a través de un turismo convencional*

Este ruido, se produce por los desprendimientos de vórtices que se originan cuando un cuerpo penetra en el fluido, para el caso del aire, a una determinada velocidad. Los desprendimientos de los vórtices ocurren cuando las corrientes de las líneas pasan a régimen laminar al régimen turbulento.

4.1.5. Ruido de rodadura

El ruido generado por los neumáticos se ha convertido en un gran problema gracias a la llegada de los vehículos eléctricos debido a que a velocidades inferiores a los 30 km/h, percibir este tipo de sonido puede llegar a ser un problema. El ruido de rodadura generalmente tiene dos vertientes, el primero de ellos debido al patrón del neumático y el generado por la superficie de la carretera al excitar el conjunto de neumático y suspensión.

La principal generación del ruido en el neumático se debe a una liberación de la energía en un pequeño bloque cuando la banda de rodadura se libera desde el borde posterior de la huella del neumático y vuelve a su posición no deformada.

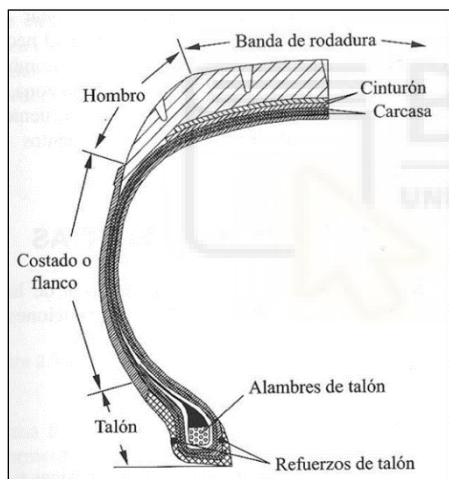


Figura 6.- Componentes del neumático

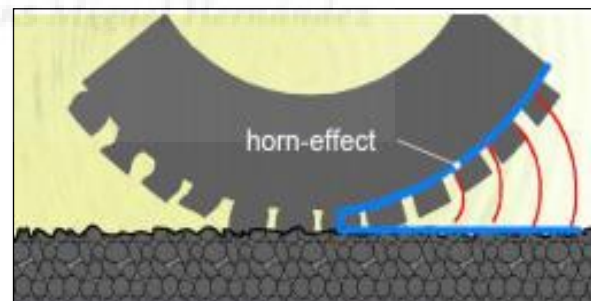


Figura 7.- Esquema interacción neumático- carretera

4.1.6. Ruido generado por el sistema de frenado

El ruido que genera el sistema de frenado es uno de los mayores inconvenientes para los propietarios de los turismos. El problema surge del propio funcionamiento debido a las pastillas o las zapatas que se mantiene en contacto con los discos de freno a través de la carga hidráulica, esta provoca una fricción entre los propios materiales.

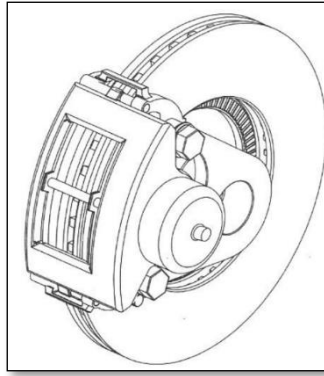


Figura 8.- Sistema de freno mediante pinza

4.2. FUENTES DE RUIDO EN LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los vehículos eléctricos poseen un gran inconveniente frente a los vehículos con motores de combustión y como se ha mencionado anteriormente, la fuente principal de ruido de los motores de combustión es aquella generada por el motor. Los vehículos eléctricos poseen un motor eléctrico el cual genera un ruido donde sus fuentes principales para generarlo son: ruido magnético, el mecánico y mediante la ventilación. Estos sonidos son de inferior magnitud a los generados por los vehículos de combustión, esto genera un gran problema en la sociedad a la hora de percibirlos cuando los peatones van a cruzar por una carretera. Esta problemática deriva a la aplicación de unos sonidos artificiales que reproduzca el vehículo a velocidades bajas, sobre los 30 km/h que es cuando el sonido del vehículo eléctrico resulta muy difícil de percibir a distancias cortas y medianas.

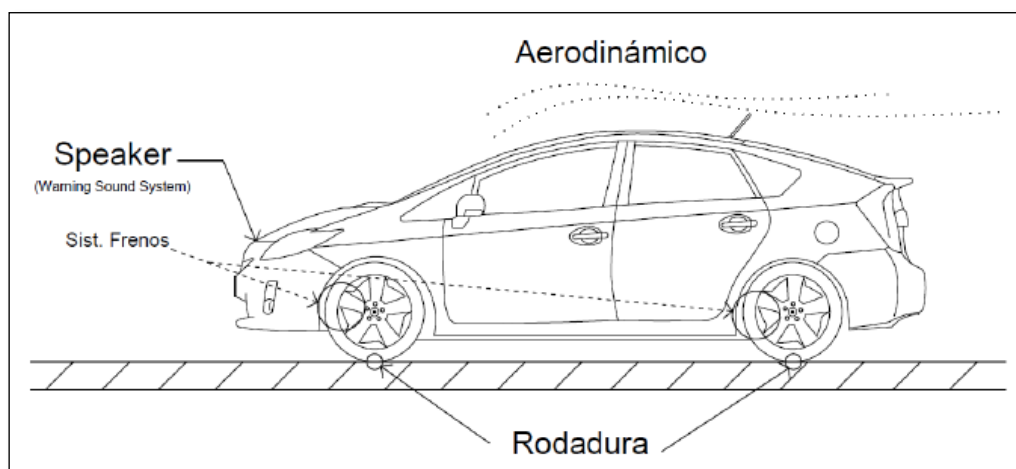


Figura 9.- Principales fuentes sonoras de un vehículo eléctrico

4.3. MUESTRA

A la hora de ejecutar las evaluaciones, la muestra inicial es de 63 sujetos. Sin embargo, tras la codificación de los datos la muestra final quedó constituida por 46 participantes siendo el 30,40% mujeres (n=14) y 69,60% (n=32) por hombres. La edad media entre los sujetos evaluados es de 44,39 años (DT=14,96). El grupo está constituido por un 43,50% (n=20) de personas con dificultades visuales mientras que los restantes participantes no poseen ninguna patología relacionada con la visión, este grupo está formado por 26 personas (56,50%). En cuanto a problemas de audición, el 23,90% (n=11) de la muestra presenta algún tipo de patología auditiva mientras que el 76,10% (n=35) no lo posee.

El único criterio de inclusión fue tener entre los 18 a 80 años con el objetivo de incluir a todas aquellas poblaciones mayores de edad en el estudio.

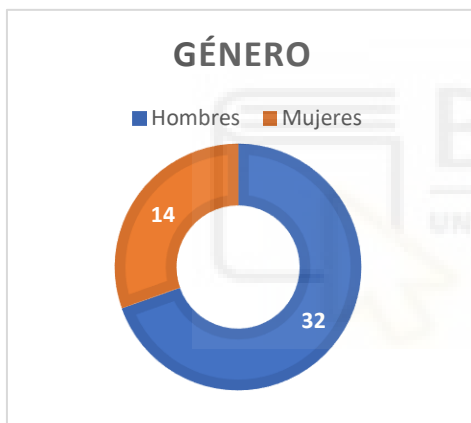


Figura 10.- Gráfico género de la muestra



Figura 11.- Gráfico número de videntes e invidentes

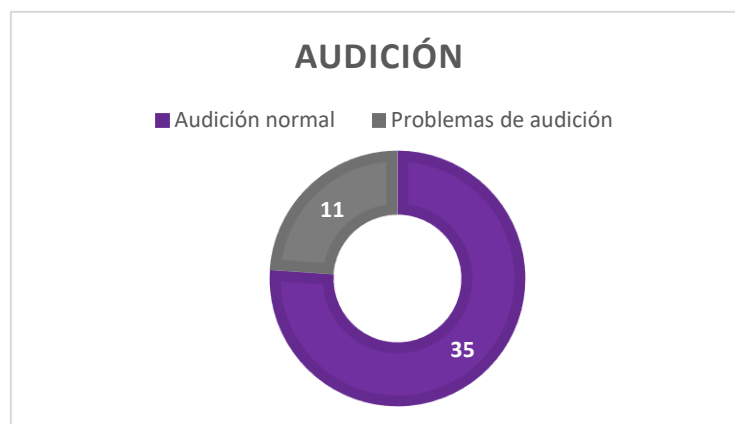


Figura 12.- Gráfico personas con problema de audición frente a las que no lo presentan

4.4. VARIABLES E INSTRUMENTOS

En el siguiente apartado tiene como objetivo describir las variables principales del estudio y los instrumentos utilizados para su desarrollo.

4.4.1. Sonidos de advertencia

Como se ha mencionado, el objetivo principal del presente estudio es la evaluación sobre la detectabilidad de ocho sonidos. Estos sonidos fueron generados a través de proyectos realizados por compañías, investigadores expertos o a través de regulaciones internacionales.

Seguidamente se exponen los sonidos utilizados junto a una breve descripción de los mismos:

- *refLL*: Se corresponde como el sonido de referencia, es un sonido tonal que presenta un tono puro de 1000 Hz.

- *motorgear*: El presente sonido de advertencia fue generado por Delta Senselab. La energía de emisión oscila entre el rango de frecuencias de 100 Hz a 500 Hz. Dicho sonido fue considerado como una señal ligeramente molesta.

- *RP1*: Este sonido fue generado teniendo en cuenta las restricciones de la Unión Europea. Los rangos de frecuencia entre los que oscila este sonido de advertencia son de 200 Hz, 400 Hz, 500 Hz y 2000 Hz.

- *RP2*: El sonido de advertencia RP2 como el RP1 fueron generados teniendo en cuenta las restricciones de la UE. Este sonido, emite sonido con gran cantidad de energía por debajo de los 200 Hz.

- *Stimulus7*: Este sonido, fue elaborado y generado durante los estudios de eVADER anteriormente mencionado. Este sonido presenta una modulación de frecuencia con forma dentada de sierra, posee tres armónicos y con una modulación de amplitud extraña.

- *Stimulus3*: Como el sonido Stimulus7, fue generado durante el proyecto eVADER. Pero a diferencia del anterior, este o presenta una modulación de frecuencia. Presenta nueve armónicos. Pero si mantiene la extraña modulación de amplitud.

- *C1 WS*: Este sonido de advertencia se corresponde con el que posee actualmente el vehículo eléctrico Renault ZOE.
- *C1 sin WS*: Se corresponde al sonido emitido por un vehículo eléctrico sin ningún tipo de sonido de advertencia. El sonido generado proviene básicamente de la rodadura y el aerodinámica del coche.

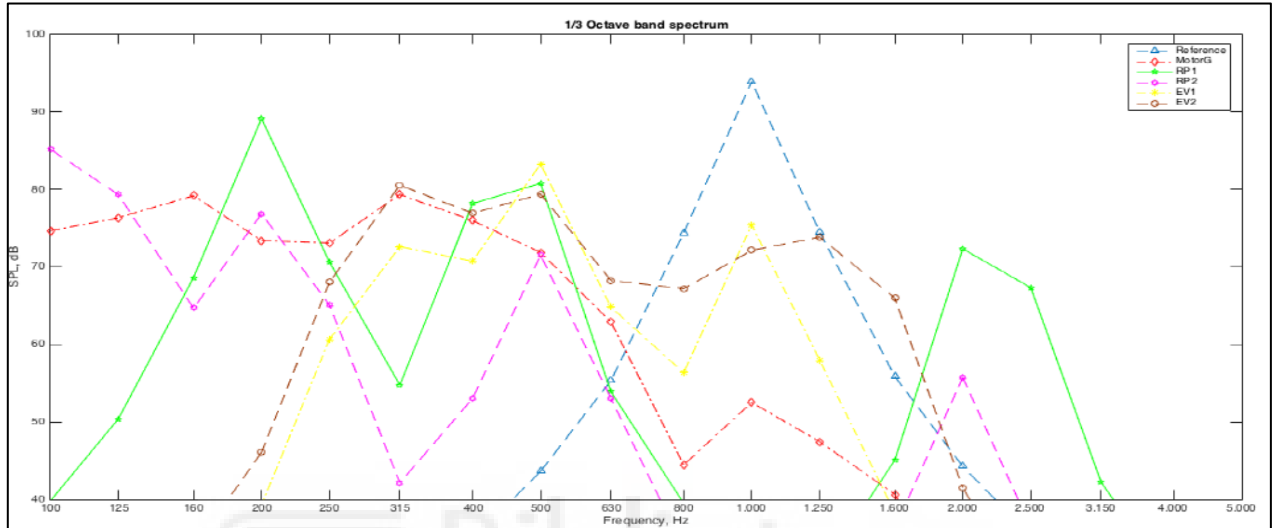


Figura 13.- Representación gráfica del comportamiento frecuencial de los sonidos anteriormente descritos frente a los decibelios (dB-A)

4.4.2. Principales variables emocionales

El espectro emocional es complejo y multidimensional. Las emociones las podemos entender como respuestas psicofisiológicas automáticas y universales ante determinados estímulos, con carácter adaptativo, que afectan a la valoración cognitiva en términos de afecto (percepción afectiva). [25]

Los estímulos percibidos como amenaza activarán emociones de carácter adaptativo que son dirigidas fundamentalmente a la supervivencia del individuo ante la amenaza ya sea real o percibida. Desde una perspectiva psicológica, se entiende que existe una respuesta emocional desadaptativa cuando se activa una emoción desagradable antes estímulos erróneos identificados como peligrosos generando una cascada de reacciones psicofisiológicas negativas.

Debido a esto, los sonidos que el sujeto a estudio identifique como una amenaza o peligroso deberían provocar una respuesta emocional desagradable, tanto en la valoración subjetiva de la emoción como en la manifestación fisiológica de éstas aumentando el ritmo cardíaco y la sudoración. [26]

Por tanto, el estímulo amenazante puede generar una respuesta de estrés, una serie de emociones generalmente desagradables y una respuesta cognitivo-conductual dirigida por el estímulo.

El estudio se ha llevado a cabo mediante diferentes instrumentos que permiten obtener información sobre parámetros fisiológicos, físicos y psicológicos de los participantes. A continuación, se muestran las variables utilizadas, así como su definición y la evaluación de la misma durante la investigación. Por una parte, se muestran las variables: *Respuesta adaptativa*, *Intensidad emocional* y *valencia del sonido*, evaluadas con el objetivo de estudiar la molestia presentada tras la emisión el sonido, llevada a cabo en otra línea de investigación. Por otra parte, las variables que hacen referencia a la detectabilidad del estímulo auditivo, perteneciente a la línea de investigación presente son: Tiempo de Reacción, Discapacidad visual, etc.

· *Respuesta adaptativa*: Es la suma de las respuestas de los sujetos ante la peligrosidad y reconocimiento percibida por sonidos obtenidos en el ensayo de molestia anexo a este donde se reprodujeron y los participantes contestaban una

serie de cuestiones respecto a estos. Los ítems de peligrosidad y el reconocimiento correlacionan entre ellos. Esta nueva variable contempla la identificación de la amenaza o el grado de amenaza percibido entendiendo el estímulo como una amenaza.

· *Tiempo de respuesta:* Consiste en el tiempo de detección auditivo de cada uno de los sonidos de vehículos cuando se aproximan al oyente desde 30 metros a una velocidad de 20 km/h y lo detecta. Para la medición de esta variable, el participante debía pulsar una tecla al escuchar que el vehículo se aproximaba hacia él.

· *Intensidad de la respuesta emocional:* Esta variable es el resultado de la suma de las puntuaciones obtenidas en el ensayo de molestia. Esta suma corresponde con las emociones de molestia, nervio y estrés. Estos tres ítems correlacionan positivamente entre ellos. La intensidad de la respuesta emocional contempla dimensiones evaluativas de la emoción.

· *Valencia del sonido:* La viable se corresponde con la emoción de desagrado. Esta puntuación se obtuvo de la prueba realizado en el ensayo de molestia. Mide la valencia del sonido categorizada como más positiva o negativa.

· *Discapacidad visual:* Corresponde con la suma de las puntuaciones de índice de agudeza visual del ojo izquierdo y ojo derecho. Si la puntuación es 0, se corresponde con invidentes, mientras que, si el valor es 2, es decir, la suma de las puntuaciones de cada uno de los ojos se corresponderá con los videntes.

4.4.3. Instrumentos del estudio

Por último, se presentan los instrumentos utilizados para medir los diferentes constructos y variables del estudio. En este caso, se utilizó un autoinforme, para recoger una serie de datos pertinentes como el sexo, edad y otros datos sociodemográficos de interés para la investigación mediante un software, con la finalidad de recoger las respuestas y exponer al participante a los sonidos.

Figura 14.- Imagen correspondiente con el software usado para el estudio donde se muestran los datos que se le pidieron a cada uno de los participantes

La prueba se realizó en una sala que permitía realizar el estudio con el material necesario. Además, dicha sala cuenta con un termómetro capaz de medir la temperatura, también se utiliza un sensor capaz de medir la humedad del ambiente y los decibelios (dB-A). Los participantes a la hora de realizar la prueba se encontraban sentados sobre una silla garantizando la comodidad y gestionando las distracciones posibles. Previo a la realización del estudio, se facilitó a cada uno de los participantes unas gafas que equiparaban la capacidad visual de los participantes, es decir, emulaban el déficit de visión de personas invidentes (*Figura 15*).



Figura 15.- Gafas utilizadas para anular la visión del participante

A la hora de recopilar los datos de la muestra, se han utilizado un software elaborado por el profesorado de la Universidad denominado DetectabilityTest v3.

Este software es el encargado de recoger los datos de identificación de cada uno de los sujetos sometidos a estudio.

Además, antes de comenzar con la prueba, a los participantes se les reproducía un ejemplo de sonido ambiente y posteriormente el de un sonido de advertencia de vehículo eléctrico. Estos dos sonidos, se reprodujeron de manera independiente. Tanto el sonido ambiente como el sonido de advertencia del vehículo no se reproducían durante el ensayo siendo diferentes a los del propio ensayo, pero del mismo tipo.

El software recogía mediante la pulsación de la tecla mostrada en la *Figura 16*, el tiempo de reacción desde que el vehículo empieza a acercarse desde 30 metros hasta que el participante lo detectaba acercarse él.



Figura 16.- Teclado utilizado para señalar cuando se detecta el EV acercarse hacia el participante

La prueba consistía en detectar los sonidos en 3 ambientes diferentes, descritos más adelante en el apartado 4.5. Procedimiento. La duración para cada uno de los ambientes era de aproximadamente de 10 minutos.

4.5. PROCEDIMIENTO

El siguiente apartado tiene como objetivo exponer los procedimientos realizados de manera detallada e ilustrada.

En primer lugar, se realizó una búsqueda exhaustiva de la información relacionada con la molestia y detectabilidad del sonido con el objetivo de conocer a fondo dicho ámbito e indagar en otros estudios previos los resultados obtenidos que guíen las líneas de investigación del presente estudio. El estudio se centra en 8 sonidos: *refLL*, *motorgear*, *RP1*, *RP2*, *stimulus3*, *stimulus7*, *C1 con WS* y *C1 sin WS*. Los sonidos se describen en el apartado 4.2.1. La universidad Miguel Hernández de Elche ha realizado estudios exhaustivos acerca de estos sonidos.

Seguidamente, para la toma de datos del estudio, los ensayos se realizaron en una sala insonorizada dentro del campus de la Universidad Miguel Hernández de Elche en el edificio Altet. La sala era un espacio cerrado que se encargaba de garantizar unas condiciones acústicas contradas, la reproducibilidad de las condiciones de ensayo y la disminución por tanto la incertidumbre de los datos obtenidos. Para realizar el ensayo se recogieron diversos valores como humedad, temperatura y ruido de fondo.

La población estudiada estuvo formada, en el caso de los invidentes por voluntarios de la ONCE (Organización Nacional de Ciegos Españoles). Para su evaluación se realizaron entre los periodos de junio a septiembre de 2019. Mientras que la selección de los videntes se realizó mediante un muestreo no probabilístico de bola de nieve dentro de la comunidad universitaria de la Universidad Miguel Hernández de Elche durante el mes de diciembre de 2019.

La investigación consta de dos estudios, para el primero de ellos (estudio complementario al documentado en este proyecto), se evaluaba las emociones emergentes tras la emisión de los sonidos. Para realizar este ensayo fueron necesarios diferentes utensilios como un pulsioxímetro (*Figura 17*), módulo

Arduino (*Figura 18*), gafas las cuales anulan la visión y electrodos para el registro de datos galvánicos (GSR) en la *Figura 19*. Mediante esta instrumentación, se obtuvieron los valores de pulsaciones y respuesta galvánica cuando el cuerpo es sometido a los estímulos generados por los diferentes sonidos.



Figura 17.- Pulsioxímetro

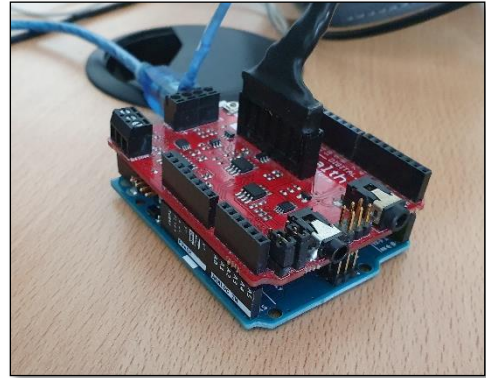


Figura 18.- Módulo Arduino



Figura 19.- Electrodo para la toma de datos GSR

Una vez reproducidos los sonidos, los participantes respondían a una serie de preguntas relacionadas con emociones de las cuales posteriormente toman un papel vital en este estudio relacionado con la detectabilidad de los sonidos debido a la obtención de los ítems como son la molestia, su respuesta adaptativa, intensidad emocional y la valencia del sonido.

La segunda línea de investigación y motivo de este estudio trata de detectar los sonidos bajo estudio en tres condiciones de ambientes diferentes.

Primeramente, se tomaron los datos de temperatura, humedad y los decibelios en el interior de la sala. Posteriormente al participante se le colocaban las gafas que anulaban la visión y se procedía a explicar detalladamente los procedimientos e instrucciones a seguir para la realización del ensayo (*Figura 20*). El software empleado en este ensayo se expone en el apartado 4.2.3.

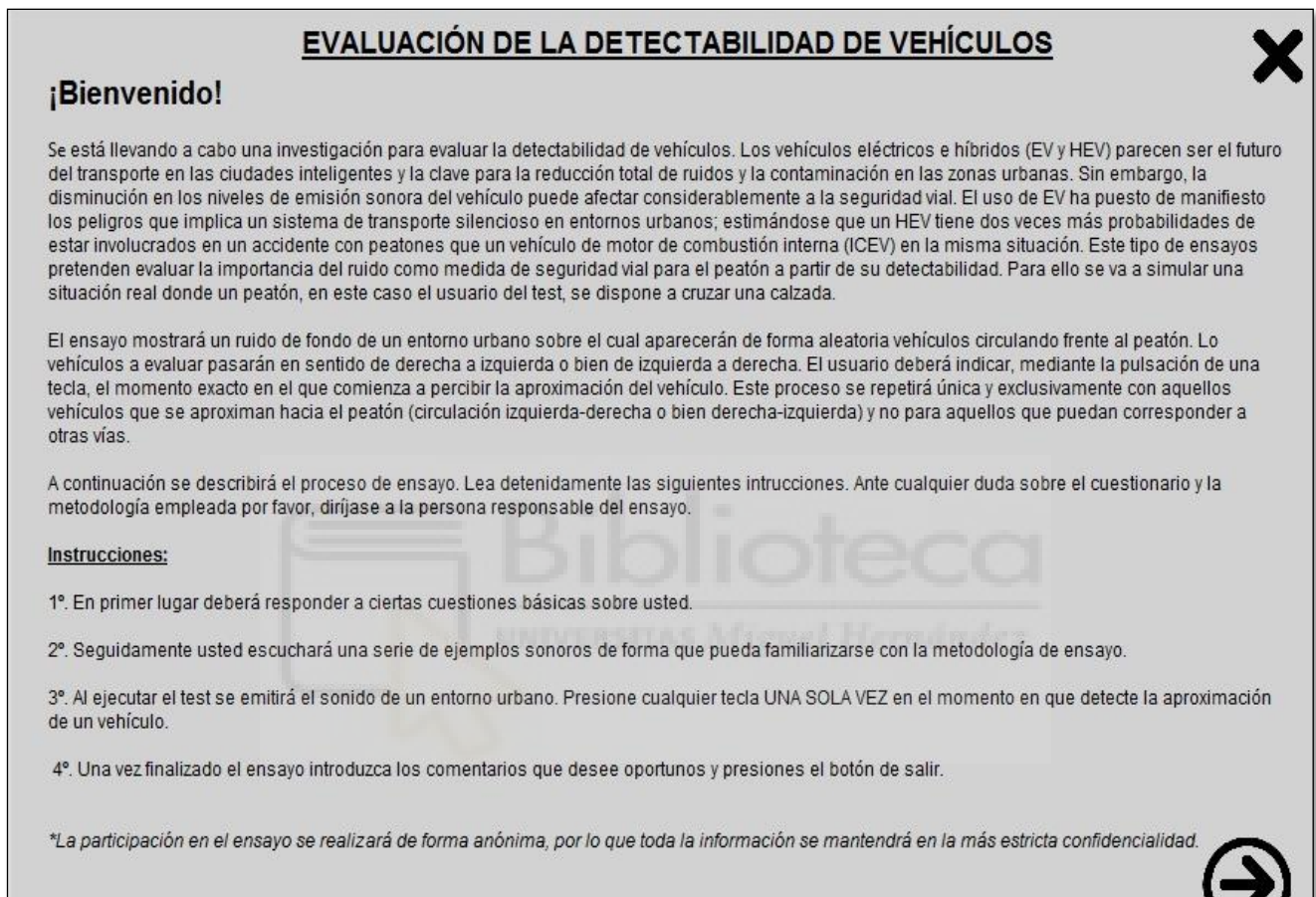


Figura 20.- Interfaz del software donde se describen las instrucciones del ensayo expuesta a los participantes durante la realización del ensayo

Este estudio anexo al anterior, recoge datos de identificación de los participantes (*Figura 14*) a estudio para conseguir una mayor organización de datos y poder así realizar correlaciones entre los dos estudios realizados debido a que los sujetos realizaron los dos ensayos.

Con el objetivo de evitar sesgos o posibles errores, los participantes realizaban una prueba antes de ser evaluados y familiarizarse con la metodología del ensayo (*Figura 22*).

A la hora de realizarlo, se reproducían de forma aleatoria los sonidos que se aproximaban de derecha a izquierda y de izquierda a derecha al sujeto en una pista formada por 60 metros de longitud donde las personas evaluadas se encontraban en el centro de la pista, es decir, a unos 30 metros del inicio y del final (*Figura 23*).



Figura 21.- Participantes realizando el ensayo de detectabilidad

El tiempo de la realización del ensayo fueron 10 minutos en por ambiente. La prueba consistía en pulsar una tecla (*Figura 16*) en el momento exacto en el que el sujeto comenzase a percibir la aproximación del vehículo.

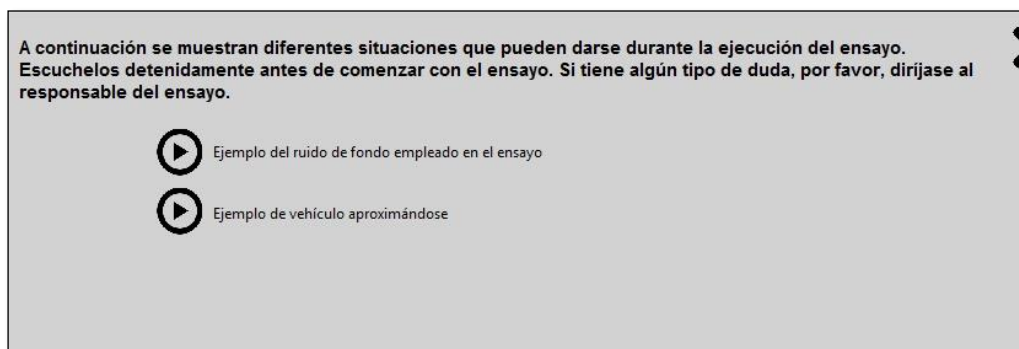


Figura 22.- Interfaz del software para la reproducción de los ejemplos de sonidos de advertencia de los EV y el sonido ambiente

Para la realización de la prueba, los sujetos disponían de unos auriculares de diadema de alta calidad y una cómoda para que estuvieran en las mejores condiciones posibles.

El ensayo se realizó en ausencia de visión, mediante el uso de unas gafas que impedían el paso de la luz y de este modo controlar la variable de la visión debido a los posibles sesgos producidos por esta. Los ambientes se detallan a continuación:

- El primero de los ambientes, simula un cruce de una calle donde el sonido de fondo es elevado y los vehículos se desplazan de derecha a izquierda y viceversa.
- El segundo, recrea una zona peatonal con un sonido de ambiente medio.
- El ambiente tres, en este caso se simula un parque donde el nivel de contaminación acústica era bajo, lo que implica un ambiente más silencioso que los anteriores mencionados.

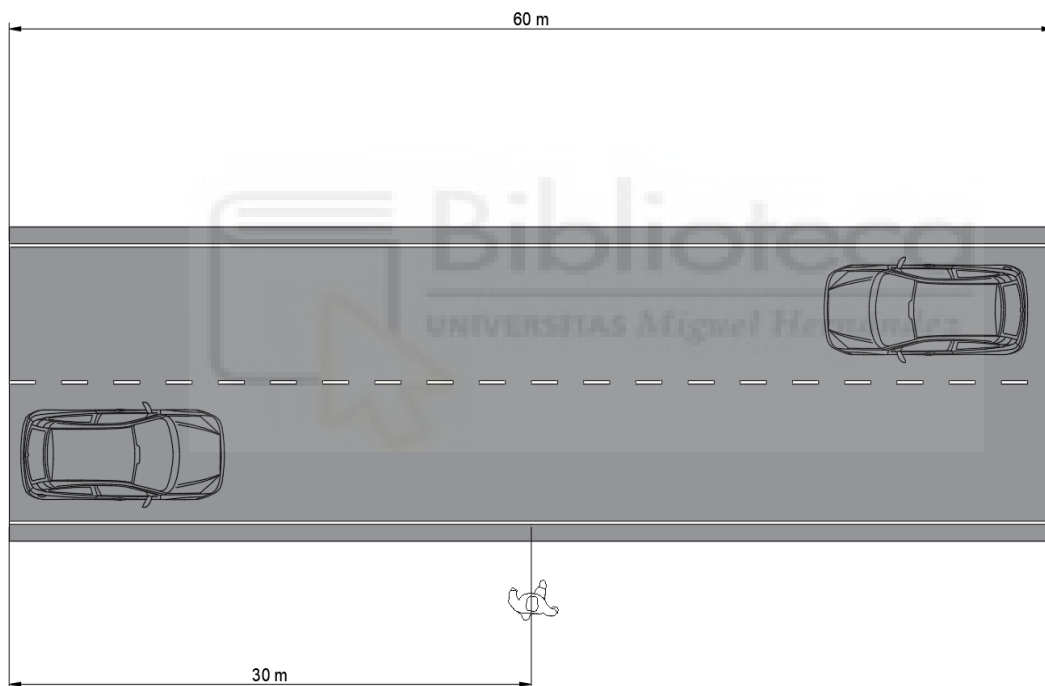


Figura 23.- Representación gráfica de la simulación de la prueba de detectabilidad donde existe una pista de 60 metros en la cual el participante se encuentra en la mitad

Posteriormente, se introdujeron los resultados obtenidos en Excel y en el programa estadístico SPSS para realizar los cálculos correspondientes.

4.6. ANÁLISIS DE DATOS

Para realizar el análisis de datos, se llevaron a cabo los procedimientos estadísticos explicados a continuación mediante el programa estadístico IBM SPSS Statistics 25.

En primer lugar, con el objetivo de conocer a fondo la muestra, se calculan análisis de tendencia central y de frecuencia de las variables sociodemográficas y de interés para el estudio. A continuación, se realizan de nuevo análisis de tendencia central como la media y la mediana, teniendo en cuenta la normalidad de las poblaciones, para detectar qué sonidos, según los criterios del segundo ensayo, son mejores. A su vez, se realizaron dichos cálculos para conocer el tiempo medio de reacción a cada sonido para detectar qué sonidos se perciben y atiende antes.

Seguidamente, se calcula una correlación de Spearman (ρ), al tratarse de variables ordinales, para conocer la relación lineal existente entre los tres ambientes en los que se lleva a cabo el estudio.

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot \sum D^2}{N \cdot (N^2 - 1)}$$

- D: Diferencia entre los correspondientes estadísticos de orden de x – y.
- N: Es el número de parejas de datos.

Por último, para conocer que sonidos discriminan en cuanto al tiempo de reacción ante determinadas poblaciones, en este caso las personas con problemas de visión primero y posteriormente a las personas con problemas de audición, se lleva a cabo una comparación de medias mediante el estadístico de contraste t-Student, donde es la distribución de probabilidad del cociente:

$$T = \frac{Z}{\sqrt{V/v}} = Z \cdot \sqrt{v/V}$$

- Z: Es una variable aleatoria distribuida según una normal típica (de media nula y varianza 1).

· V: Es una variable continua que sigue una distribución X^2 con ν grados de libertad.

· Z y V son independientes.

A su vez, para conocer la magnitud del tamaño del efecto se ha calculado Delta de Cohen (d) con los siguientes criterios: $d \leq 0,2$ pequeño; $0,5 \geq d < 0,8$ mediano y $d \geq 0,8$ grande. Para como el porcentaje del tamaño del efecto se calcula con r.

$$d = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{SD_1^2 + SD_2^2}{2}}}; \quad r = \frac{d}{\sqrt{(D^2) + 4}}$$

Previamente se calculan los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk al tener una muestra inferior a 50 sujetos donde su estadístico de prueba es:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i \cdot x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

· $x_{(i)}$: Es el número que ocupa la i -ésima posición en la muestra (con la muestra ordenada de menos a mayor).

· \bar{x} : $(x_1 + \dots + x_n) / n$ es la media muestral.

· Las variables a_i se calculan²

$$(a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T \cdot V^{-1}}{(m^T \cdot V^{-1} \cdot V^{-1} \cdot m)^{1/2}}$$

Donde

$$m = (m_1, \dots, m_n)^T$$

El segundo supuesto se corresponde al de independencia mediante la prueba de Rachas y la prueba de Levene para la homocedasticidad. En todo el estudio, se utiliza un intervalo de confianza del 95%, por lo que para que se cumplan los supuestos, su significación deberá ser $p > 0,05$.

5. RESULTADOS

5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Como se ha mencionado anteriormente, la muestra está formada por un total de 46 personas, de las cuales el 98,4% (n=45) tienen la nacionalidad española y el 1,6% (n=1) su nacionalidad es rusa. Además, se realizó un análisis exhaustivo sobre su lugar de residencia. La mayor parte de la muestra reside en la provincia de Alicante con el 95,2% (n=44), donde las poblaciones con mayor número de participantes son Elche y Alicante con un 42,9% (n=20) y 28,6% (n=13), respectivamente. El 4,8% (n=2) restante residen en Valencia y Murcia.

En el apartado anterior queda explicada la totalidad de la muestra con problemas de visión. Sin embargo, en este apartado se realiza un estudio más a fondo, con el objetivo de conocer las características específicas de la muestra en cuanto su agudeza visual. En primer lugar, para el ojo derecho, el 56,50% (n=26) presenta una agudeza visual del 100%, es decir, no presentan ningún grado de pérdida visual. Del 43,50% (n=20) que sí tienen pérdida de agudeza visual destacan, un 8,7% (n=4) de los participantes presenta una agudeza visual nula en el ojo derecho, lo que nos indica que no existe capacidad visual para dicho órgano sensitivo. Igualmente, el 19,6% (n=9) de la muestra total presenta una agudeza visual del 10% del órgano ocular derecho. En cuanto al ojo izquierdo el 58,7% (n=27) no presenta problemas de visión, el 19,6% (n=9) presenta una agudeza visual del 10% y, por último, el 10,9% (n=5) presenta una agudeza visual del ojo izquierdo nula.

A continuación, con el objetivo de mejorar la comprensión e interpretación de los datos y resultados, se adjuntan dos gráficos circulares donde se muestra la agudeza visual para cada uno de los ojos, tanto derecho como izquierdo. Donde 0% es una agudeza nula y 100% es la agudeza visual total.

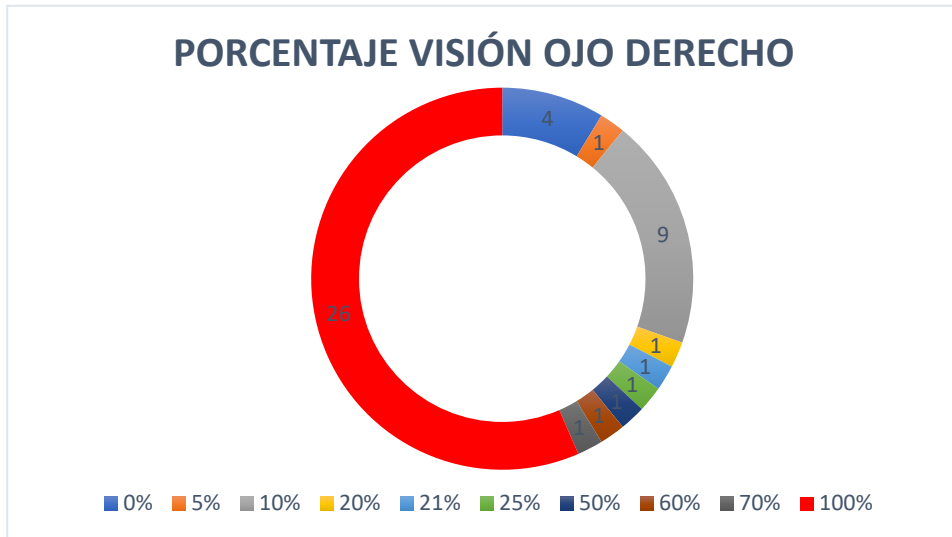


Figura 24.- Representación gráfica del número de participantes para los distintos porcentajes de agudeza visual siendo el 100% el máximo. Ojo derecho

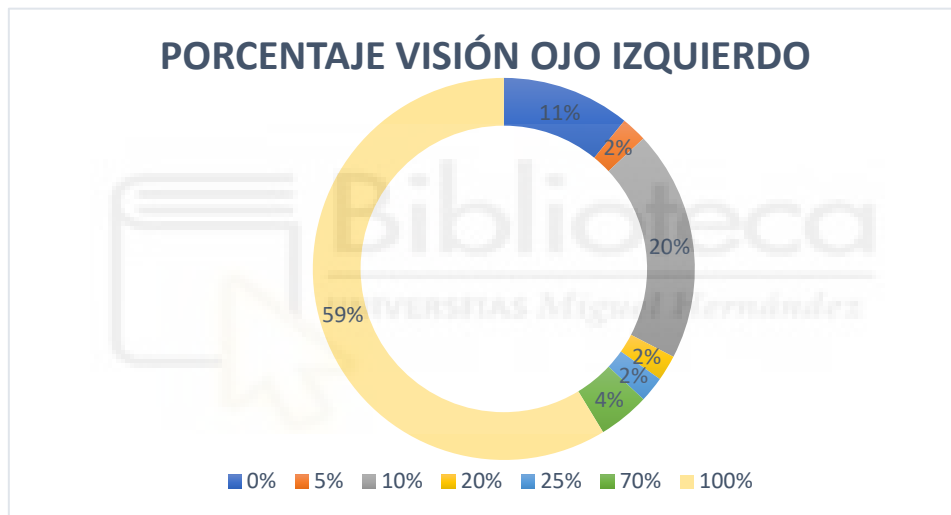


Figura 25.- Representación gráfica del número de participantes para los distintos porcentajes de agudeza visual siendo el 100% el máximo. Ojo izquierdo

Respecto a los problemas auditivos encontrados en la muestra estudiada, el 76,1% (n=35) no presenta dificultad alguna para percibir los sonidos del ambiente según los parámetros de salud. Los 11 participantes restantes (23,9%) presentan una pérdida de audición leve. Ninguno de las personas evaluadas presenta un problema de audición mayor.

5.2. RANKING SONIDOS

Como se ha mencionado anteriormente en el apartado de metodología, la primera línea de investigación de este estudio tiene como objetivo estudiar la valencia del sonido, la intensidad emocional y la respuesta adaptativa de cada estímulo auditivo evaluado. A continuación, se muestra una tabla con las medianas de cada sonido en cada una de las variables mencionadas anteriormente con el fin de realizar un ranking que nos permita identificar el mejor sonido según los criterios establecidos en dicha línea de investigación. Se recurren a pruebas no paramétricas de tendencia central al no cumplirse en gran parte de los grupos estudiados el supuesto de normalidad. La *Tabla 1*, resume los resultados obtenidos:

Tabla 1. Estadísticos de Tendencia Central - Molestia

	Valencia	Intensidad Emocional	Respuesta Adaptativa
refLL (referencia)	5,00 (DT=1,69)	10,00 (DT=4,44)	9,00 (DT=2,91)
motorgear	5,00 (DT=1,55)	11,00 (DT=4,85)	6,00 (DT=2,63)
RP1	3,00 (DT=1,82)	15,00 (DT=5,33)	6,00 (DT=2,86)
RP2	3,00 (DT=1,49)	14,00 (DT=4,17)	7,00 (DT=2,86)
Stimulus7	4,00 (DT=1,78)	13,00 (DT=4,86)	6,00 (DT=2,74)
Stimulos3	5,00 (DT=1,62)	12,00 (DT=4,80)	6,00 (DT=2,80)
C1 con WS	5,00 (DT=1,70)	10,00 (DT=4,89)	6,00 (DT=2,64)

Nota: C1 sin WS no se tuvo en cuenta para dicha línea de investigación.

Como se observa en la *Tabla 1*, según las variables y criterios los mejores sonidos son: el *RP1* obtiene una puntuación global idéntica al sonido de referencia, ya que a pesar de obtener valores bajos en la valencia del sonido presenta la mayor puntuación en intensidad emocional y una puntuación media en respuesta adaptativa. Es decir, al no considerarse uno de los sonidos más desagradables sí que es considerado poco molesto, poco estresante y que genera poco nerviosismo. Además, la respuesta de los participantes ante dicho estímulo es considerada beneficiosa al relacionar dicho sonido al reconocimiento del vehículo, lo permite evitar un accidente.

El sonido *RP2*, también obtiene el primer puesto en el ranking con un patrón muy similar al sonido descrito anteriormente. A estos le siguen el sonido *stimulus7* y *stimulus3*, posteriormente *motorgear* y, por último, el sonido *C1 con*

WS con puntuaciones bajas en intensidad emocional y respuesta adaptativa. Sin embargo, la valencia de dicho sonido es positiva al considerarse un estímulo agradable.

5.3. TIEMPO DE REACCIÓN

A continuación, se muestran el promedio del tiempo de respuesta a cada estímulo auditivo, así como los metros restantes tras detectar el sonido hasta alcanzar al peatón. Dicho tiempo de reacción es estudiado en diferentes contextos.

Tabla 2. Tiempo de Reacción. Videntes

Sonido	Ambiente 1		Ambiente 2		Ambiente 3	
	TR	Metros	TR	Metros	TR	Metros
refLL	2,35 (DT=1,01)	17,46 (DT=2,05)	2,03 (DT=1,22)	19,23 (DT=2,21)	1,47 (DT=0,79)	22,32 (DT=1,80)
Motorgear	4,21 (DT=0,71)	7,13 (DT=1,71)	3,57 (DT=0,91)	10,69 (DT=1,91)	1,72 (DT=1,18)	20,96 (DT=2,21)
RP1	2,12 (DT=0,93)	18,72 (DT=1,96)	2,02 (DT=0,65)	19,26 (DT=1,61)	1,31 (DT=0,47)	23,22 (DT=1,39)
RP2	4,32 (DT=0,65)	6,48 (DT=1,64)	3,79 (DT=0,77)	9,47 (DT=1,76)	1,77 (DT=0,85)	20,65 (DT=1,88)
Stimulus7	1,70 (DT=0,49)	21,06 (DT=1,43)	1,71 (DT=1,17)	21,02 (DT=2,17)	1,17 (DT=0,58)	23,96 (DT=1,55)
Stimulus3	1,96 (DT=0,99)	19,63 (DT=2,02)	2,08 (DT=0,82)	18,93 (DT=1,81)	1,31 (DT=0,54)	23,23 (DT=1,50)
C1 con WS	4,34 (DT=0,40)	6,40 (DT=1,29)	3,92 (DT=0,32)	8,74 (DT=1,13)	3,56 (DT=0,17)	10,74 (DT=0,84)
C1 sin WS	4,80 (DT=0,38)	3,85 (DT=1,26)	4,42 (DT=0,53)	5,97 (DT=1,46)	3,91 (DT=0,29)	8,80 (DT=1,09)

Nota: TR: Tiempo de reacción. Metros: Distancia en metros entre el peatón y el vehículo tras ser detectado auditivamente por primera vez.

En primer lugar, se muestran las cifras obtenidos por los participantes que no presentan ningún problema de visión. Como se observa en la *Tabla 2*, y sin tener en cuenta el sonido de *refLL*, *stimulus7*, *stimulus3* y *RP1* presentan los valores más bajos en cuanto al tiempo de reacción, lo que indica que son detectados más rápidos de forma auditiva, dejando así un mayor número de metros entre el vehículo y el peatón permitiendo reaccionar positivamente ante dicha situación. Dicho patrón se cumple en los tres ambientes estudiados.

Tabla 3. Tiempo de Reacción. Invidentes

Sonido	Ambiente 1		Ambiente 2		Ambiente 3	
	TR	Metros	TR	Metros	TR	Metros
refLL	2,72 (DT=1,66)	15,38 (DT=2,50)	2,22 (DT=2,15)	18,15 (DT=2,88)	1,64 (DT=1,53)	21,41 (DT=2,46)
Motorgear	4,58 (DT=1,12)	5,08 (DT=2,05)	4,08 (DT=1,46)	7,86 (DT=2,38)	1,79 (DT=1,75)	20,53 (DT=2,65)
RP1	2,18 (DT=1,76)	18,36 (DT=2,57)	2,18 (DT=1,66)	18,39 (DT=2,53)	1,39 (DT=1,08)	22,77 (DT=2,04)
RP2	4,80 (DT=0,65)	3,81 (DT=1,57)	4,03 (DT=1,80)	8,12 (DT=2,64)	2,13 (DT=2,11)	18,68 (DT=2,90)
Stimulus7	2,33 (DT=1,44)	17,53 (DT=2,32)	1,98 (DT=1,49)	19,48 (DT=2,40)	1,34 (DT=1,04)	23,04 (DT=2,08)
Stimulus3	2,54 (DT=1,87)	16,38 (DT=2,65)	2,70 (DT=1,74)	15,51 (DT=2,60)	1,51 (DT=1,08)	22,14 (DT=2,08)
C1 con WS	4,83 (DT=0,60)	3,67 (DT=1,50)	4,26 (DT=0,58)	6,85 (DT=1,50)	3,80 (DT=0,50)	9,36 (DT=1,41)
C1 sin WS	5,20 (DT=0,23)	1,59 (DT=0,92)	4,78 (DT=0,61)	3,95 (DT=1,54)	4,06 (DT=0,63)	7,95 (DT=1,58)

Nota: TR: Tiempo de reacción. Metros: Distancia en metros entre el peatón y el vehículo tras ser detectado auditivamente por primera vez.

Nuevamente, la *Tabla 3*, muestra que los sonidos en personas invidentes con un menor tiempo de reacción son *stimulus7*, *stimulus3* y *RP1* independientemente del ambiente en el que se muestren los estímulos auditivos.

A continuación, con el objetivo de clarificar los resultados mencionados anteriormente en este apartado se muestran tres gráficos, uno para cada ambiente donde se muestran los valores promedios de tiempo de reacción y su varianza, tanto para la población vidente como la invidente.

Para la interpretación de dichas gráficas se utiliza la leyenda adjunta que permite diferenciar entre las dos poblaciones estudiadas, aquellas personas sin ningún tipo de visión y personas con problemas de visión.

- Valores promedios población invidente.
- Valores promedios población vidente.

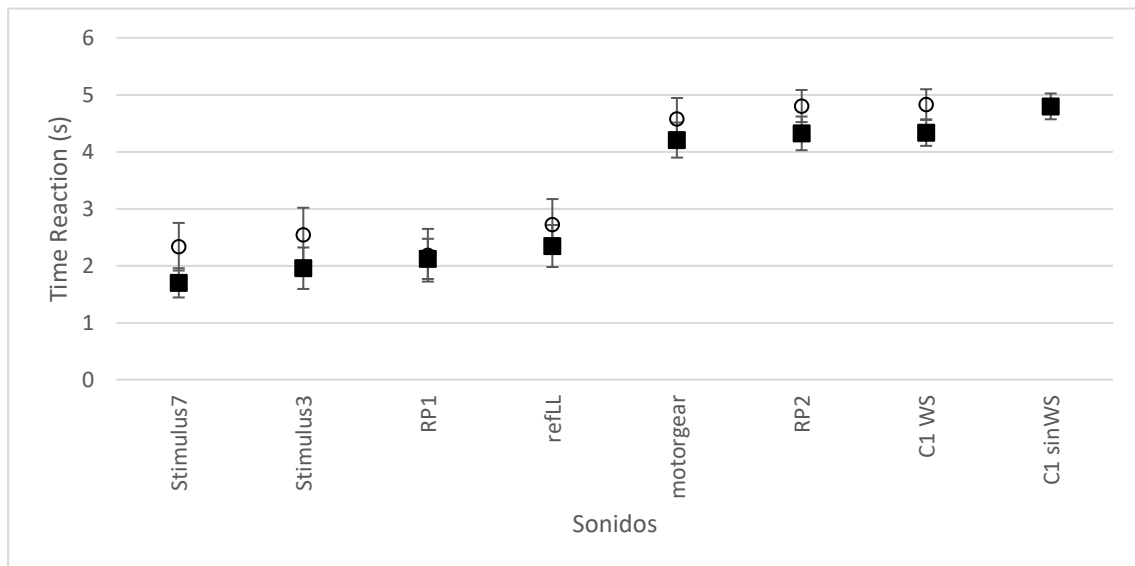


Figura 26.- Tiempo reacción ambiente 1

Como se observa en la *Figura 25*, el sonido con menor tiempo de reacción se corresponde con el *stimulus7* para la población vidente con un tiempo medio de 1,70 segundos mientras que para la población que presenta alguna problemas de vision el sonido con un menor tiempo de reacción es el sonido *RP1* con 2,18 segundos. También se detecta que el peor sonido para ambas poblaciones es el *C1 sin WS* donde su tiempo de reacción es de 4,18 segundos para videntes y de 5,20 segundos para invidentes, el hecho de que este estímulo auditivo sea el que posee mayor tiempo de reacción es debido a que se forma por el sonido generado por la rodadura y la aerodinámica del mismo, es decir, carece de sonido de advertencia.

Otro aspecto a tener en cuenta trata sobre cómo se aprecian dos grupos de sonidos que destacan por sus diferentes tiempos de reacción. Sin embargo, existen pocas diferencias entre personas con una visión normal y personas con problemas de visión.

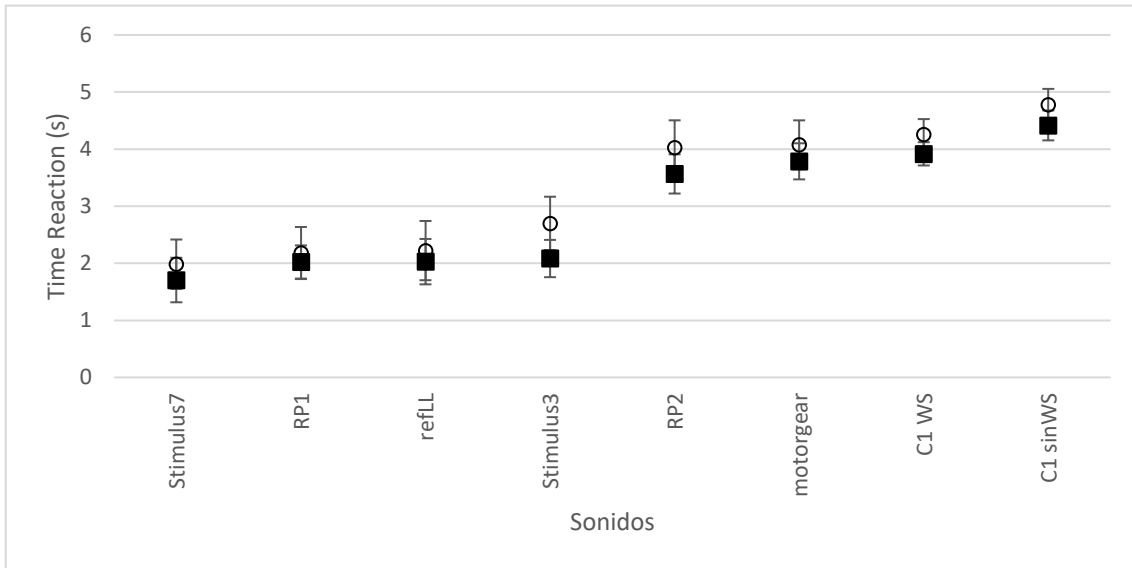


Figura 27.- Tiempo reacción ambiente 2

Seguidamente, para la *Figura 26*, se vuelve a detectar para el ambiente 2 el sonido que presenta un menor tiempo de reacción es el *stimulus7* en este caso para ambas poblaciones. Como se espera, el sonido con mayor tiempo de reacción es el *C1 sin WS*. De nuevo, se vuelve a observar dos grupos de sonidos donde uno destaca por su bajo tiempo de reacción y el otro por su mayor tiempo de reacción, dichos grupos se mantienen para ambas poblaciones. Nuevamente, las diferencias entre ambas poblaciones en cuanto al tiempo de reacción son mínimas, donde el sonido *stimulus3* tiene una mayor discrepancia entre ambas muestras a estudio.

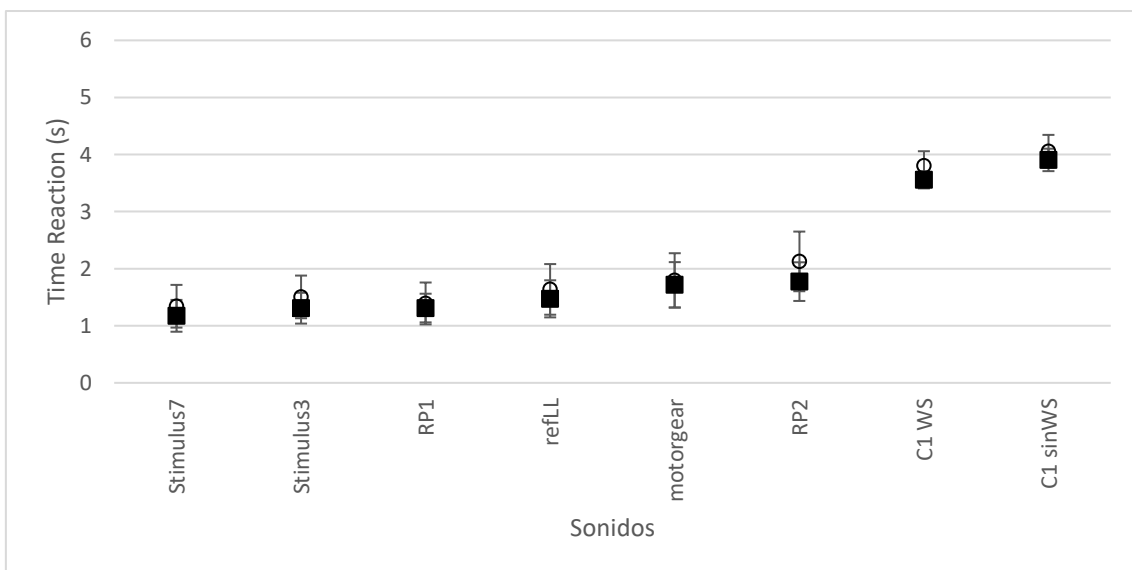


Figura 28.- Tiempo reacción ambiente 3

Respecto al tercer ambiente recogido en la *Figura 27*, en primer lugar, el sonido con menor tiempo de reacción para ambas poblaciones de nuevo es *stimulus7* seguido muy de cerca por *RP1* y *stimulus3*. Para este ambiente cabe destacar que existen de nuevo dos grupos, pero a diferencia de los anteriores, en este solo presentan un alto tiempo de reacción los sonidos el *C1 con WS* y *C1 sin WS*.

5.4. AMBIENTE

Así pues, como se observa en las *Tablas 2* y los registros son similares en los 3 ambientes descritos. Por ello, se procede a calcular una correlación de Spearman con el objetivo de conocer la relación existente entre dichos ambientes, y así poder detectar si existen diferencias en el tiempo de respuesta según el contexto en el que se percibe el estímulo.

Tabla 4. Correlación Spearman para los ambientes

	TR_Ambiente1	TR_Ambiente2	TR_Ambiente3
TR_Ambiente1	1,00	0,22	0,65**
TR_Ambiente2	0,22	1,00	0,25
TR_Ambiente3	0,65**	0,25	1,00

*Nota 1: TR: Tiempo de Respuesta. Nota 2: ** $p < 0,01$.*

La *Tabla 4* muestra la alta relación existente entre los tiempos de respuestas entre el ambiente 1 y el ambiente 3. Lo que indica la poca variabilidad entre los tiempos de reacción en dichos contextos. Además, el ambiente 2 no correlaciona con ninguno de los restantes ambientes lo que indica que no existe relación entre ellos. De otra forma, para el ambiente 1 y el ambiente 3 sí que existe una alta correlación.

Tras la preocupación por no excluir a determinadas poblaciones de riesgo, como las personas con mayor dificultad visual se procede a comprobar si existen diferencias en el tiempo de respuesta teniendo en cuenta el contexto en el que se muestran los estímulos auditivos y los problemas de visión. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la siguiente tabla.

Tabla 5. Resultados t-Student para los ambientes

Grupo	Estadísticos Descriptivos		Prueba de Levene		t-Student		
	Media	N	F	p	t	p	
Ambiente 1							
VN	3,23 (1,30)	26	Se asumen varianzas iguales	0,011	0,918	-0,648	0,527
DV	3,65 (1,31)	20	No se asumen varianzas iguales				
Ambiente 2							
VN	2,94 (1,08)	26	Se asumen varianzas iguales	0,035	0,855	-0,611	0,551
DV	3,28 (1,12)	20	No se asumen varianzas iguales				
Ambiente 3							
VN	2,03 (1,08)	26	Se asumen varianzas iguales	0,001	0,980	-0,332	0,745
DV	2,21 (1,09)	20	No se asumen varianzas iguales				

Nota: VN: Visión Normal, DV: Discapacidad Visual.

Como se observa en la *Tabla 5*, y al asumir varianzas iguales que garantizan la homocedasticidad de la muestra, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de personas con visión normal y personas con problemas de visión en los ambientes 1, 2 y 3. Es decir, el tiempo de respuesta es independiente al contexto y a los problemas de visión.

Previamente a los estudios del t-Student, se realizaron unos cálculos sobre los siguientes supuestos: Normalidad, independencia y homocedasticidad.

· *Normalidad*: Se calculó el supuesto de normalidad con el fin de conocer la existencia de una distribución normal de las puntuaciones de las muestras estudiadas. En este caso, la muestra al ser inferior a 50 se calculará mediante la prueba de Shapiro-Wilk. En un primer lugar para el ambiente 1, la población con una visión normal obtiene un estadístico de contraste de 0,98 ($p=0,79$), mientras que la población con problemas de visión su estadístico de contraste es de 0,97 ($p=0,79$). Esto indica que ambos grupos presentan una distribución normal en sus puntuaciones lo que permite calcular pruebas paramétricas. *Figuras 28 y 29.*

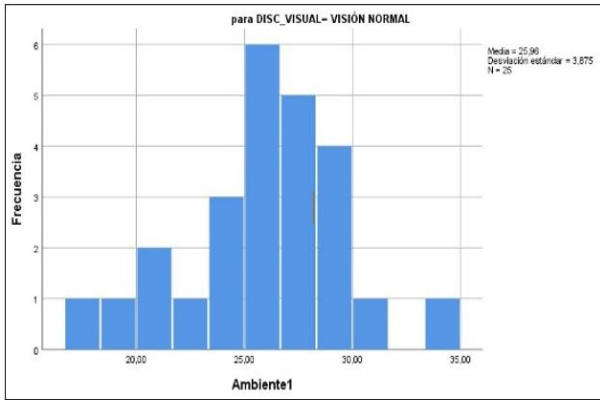


Figura 29.- Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 1 (se cumple)

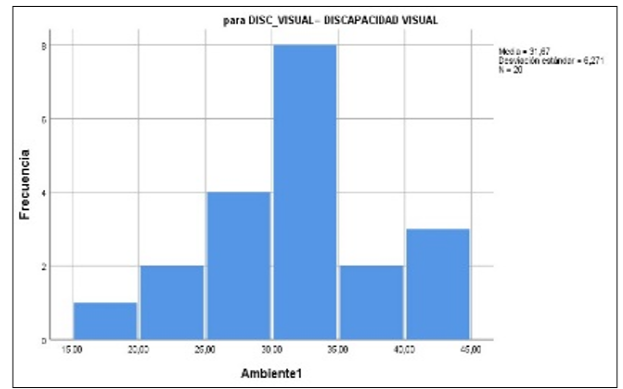


Figura 30.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 1 (se cumple)

Para el ambiente 2, de nuevo, se vuelve a cumplir el supuesto de normalidad. En este caso, la población con una visión normal obtiene un estadístico de contraste de 0,95 ($p=0,25$), mientras que la población con problemas de visión su estadístico de contraste es de 0,94 ($p=0,27$). Figura 30 y 31.

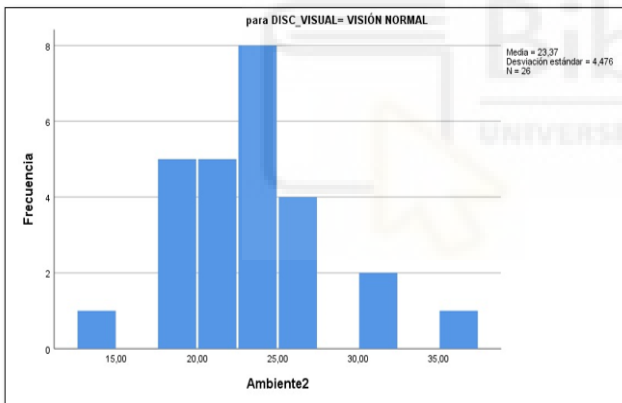


Figura 31.- Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (se cumple)

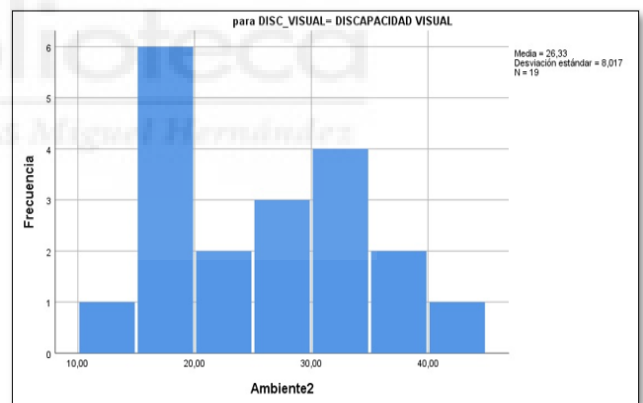


Figura 32.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (se cumple)

Para el tercer ambiente estudiado, para la población que presenta una visión normal no se cumple el supuesto de normalidad al presentar una probabilidad asociada $p < 0,05$. Sin embargo, para la población formada por personas con problemas de visión sí se detecta la normalidad entre sus puntuaciones, es decir, se cumple el supuesto al obtener un estadístico de contraste de 0,91 ($p=0,06$).

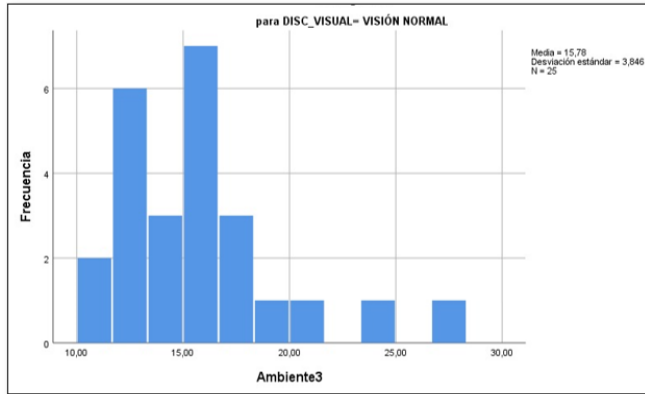


Figura 33.- Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 3 (no se cumple)

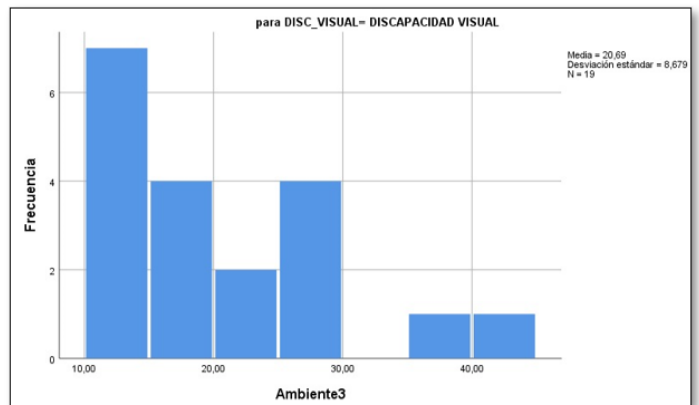


Figura 34.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 3 (se cumple)

· *Independencia:* Este supuesto garantiza que los errores encontrados en los resultados se deben al azar y no a un fallo en la investigación o en el control de variables. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Prueba de rachas. Ambientes

Estadístico rachas	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3
Valor de prueba ^a	27,52	23,27	15,64
p	0,23	0,23	0,65

Nota 1: ^a: mediana. Nota 2: *p<0,05.

Como se observa en la *Tabla 6*, para todos los ambientes se cumple el supuesto de independencia al presentar una probabilidad asociada $p > 0,05$ lo que indica que la probabilidad de cometer un error es del 5%.

· *Homocedasticidad:* Este tercer y último supuesto, trata de buscar una homogeneidad en las respuestas. El cálculo se realizará mediante la prueba de Leven donde se evalúa la igualdad de las varianzas para una variable calculada para dos o más grupos.

Para los ambientes 1, 2 y 3 se observa que se cumple el supuesto de homocedasticidad por lo que se asumen varianzas iguales, es decir, existe una homogeneidad de respuestas entre las personas con problemas de visión y aquellas que no presentan ninguna patología relacionada en todos los contextos estudiados al obtenerse una probabilidad asociada en la prueba de Leven $p > 0,05$.

5.5. ESTUDIO PARTICULAR DE DISCRIMINACIÓN PARA SONIDOS EN LOS DISTINTOS AMBIENTES: PROBLEMAS DE VISIÓN

El apartado anterior deja claro que el contexto no es una variable influyente en la percepción y su reacción a los sonidos presentados. Sin embargo, surge la cuestión si una persona con problemas de visión o auditiva presentará algún problema al percibir alguno de los sonidos estudiados. Por ello, este apartado propone estudiar las diferencias entre dichas poblaciones con el objetivo de seleccionar un estímulo auditivo que no discrimina a nivel poblacional. Primeramente, se deben de calcular los supuestos para cada uno de los sonidos en los tres ambientes.

5.5.1. Ambiente 1

Los resultados expuestos a continuación muestran la prueba de normalidad para cada sonido del ambiente 1. Para ello se realiza la prueba mediante Shapiro-Wilk. Para que se cumplan los supuestos la significación de dicha prueba debe cumplir que $p > 0,05$.

· *Normalidad*: Respecto al sonido *refLL* se cumple el supuesto de normalidad en ambas poblaciones al presentar los siguientes estadísticos de contraste: Para el grupo de visión normal 0,96 ($p=0,460$) y para el grupo de visión reducida es de 0,93 ($p=0,160$).

Seguidamente, para el sonido *motorgear* solo se cumple dicho supuesto para uno de los grupos, en concreto, para el grupo sin patologías relacionadas con la visión al obtener un estadístico de contraste de 0,92 ($p=0,054$). Sin embargo, el grupo que sí presenta problemas de visión obtiene un valor de 0,73 ($p=0,001$) lo que indica que sus puntuaciones no siguen una distribución normal.

Para el sonido *RP1* las personas con una visión normal siguen la distribución normal al disponer de un estadístico de contraste de 0,97 ($p=0,604$), es decir, se cumple el supuesto normalidad para este grupo. Para las personas con problemas de visión no cumplen con los supuestos de normalidad con un estadístico de contraste de 0,88 ($p=0,010$).

A continuación, en cuanto al sonido *RP2* en ninguna de las dos muestras se cumple este supuesto, lo que implica que sus puntuaciones no siguen una distribución según la curva normal. Sus estadísticos de contraste son: Visión normal 0,92 ($p=0,040$) mientras que para el grupo con problemas de visión 0,763 ($p=0,001$).

El siguiente sonido *stimulus7* sigue el mismo patrón que *RP2*, esto indica que no se cumplen el supuesto de normalidad para los dos grupos. Las puntuaciones son, para el grupo de visión normal 0,915 ($p=0,039$) mientras que para el grupo que presenta los problemas de visión es de 0,810 ($p=0,001$).

Con el sonido *stimulus3* encontramos que para la gente con visión normal encontramos unos valores de estadísticos de contraste de 0,953 ($p=0,295$), indicando que se cumplen los supuestos, mientras que para el grupo de invidentes no se cumple el supuesto de normalidad 0,879 ($p=0,017$).

El sonido *C1 con WS* sigue el mismo patrón que *stimulus3* donde el grupo de visión normal cumple con el criterio de normalidad con una puntuación de 0,962 ($p=0,462$) y la gente con problemas de visión obtienen un valor de estadísticos de contraste de 0,696 ($p=0,001$).

Por último, el sonido *C1 sin WS* tiene como inconveniente que para ninguna de las dos poblaciones cumple con el supuesto de normalidad. Los videntes presentan una puntuación de 0,896 ($p=0,015$) y los invidentes de 0,619 ($p=0,001$).

La *Tabla 7* resume los resultados obtenidos sobre los supuestos de normalidad para cada uno de los sonidos del ambiente 1.

Tabla 7. Supuesto de normalidad para el ambiente 1 (prueba Shapiro-Wilk). Problema de visión

	refLL	motorgear	RP1	RP2	stiumulus7	stimulus3	C1 con WS	C1 sin WS
VN	0,962 ($p=0,460$)	0,921 ($p=0,054$)	0,968 ($p=0,604$)	0,918 ($p=0,045^*$)	0,915 ($p=0,039^*$)	0,953 ($p=0,295$)	0,962 ($p=0,696$)	0,896 ($p=0,015^*$)
DV	0,931 ($p=0,159$)	0,731 ($p=0,001^{**}$)	0,867 ($p=0,010^*$)	0,763 ($p=0,001^{**}$)	0,810 ($p=0,001^{**}$)	0,879 ($p=0,017^*$)	0,696 ($p=0,001^{**}$)	0,619 ($p=0,001^{**}$)

*Nota1: VN: Visión Normal, DV: Discapacidad Visual. Nota2: * $p<0,05$, ** $p<0,01$*

· *Independencia*: El cálculo de independencia donde se observa si el error es fruto del azar y no durante la investigación lo que indica que todos los valores son superiores a 0,05 cumpliendo el supuesto de independencia, excepto para el caso del sonido *C1 sin WS* debido a que su valor es de 5,29 ($p=0,018$) por lo que no cumple el supuesto.

Tabla 8. Prueba de rachas para el ambiente 1

Estímulos auditivos	Valor de prueba ^a	p
refLL	2,29	0,899
Motorgear	4,70	0,706
RP1	2,04	0,902
RP2	4,74	0,533
Stimulus7	1,83	0,531
Stimulus3	2,03	0,899
C1 con WS	4,69	0,902
C1 sin WS	5,29	0,018*

*Nota 1: ^a: mediana. Nota 2: * $p<0,05$.*

· *Homocedasticidad*: El siguiente supuesto se calculó mediante la prueba de Leven para comprobar la homogeneidad de las respuestas. Como se puede observar en la *Tabla 9*, el único sonido que no cumple con el supuesto debido a que tiene un valor de significación $p=0,017$, es decir, inferior al establecido por el nivel de confianza del 95%, es el *C1 con WS*. El resto de los sonidos estudiados presentan una homogeneidad en sus respuestas.

A la derecha del gráfico se muestran los resultados de la prueba de t-Student. Encontramos que para los sonidos *refLL*, *motorgear*, *RP1* y *stimulus3* se observa que tras comprobar que existe una variabilidad de respuestas en dichos sonidos, se afirma que no discriminan poblacionalmente, es decir, no existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de personas con visión normal y personas con visión reducida respecto al tiempo de reacción en dicho primer ambiente.

Por el contrario, los sonidos *RP2*, *stimulus7*, *C1 sin WS* y *C1 con WS*, presentan resultados que muestran una diferenciación en el tiempo de reacción entre las personas que presentan problemas de visión de las que no.

Tabla 9. Resultados t-Student Ambiente 1. Problema de visión

Grupo	Estadísticos Descriptivos		Prueba de Levene		t-Student		
	Media	N	F	p	t	p	
RefLL							
VN	2,35 (1,01)	26	Se asumen varianzas iguales	1,858	0,178	-1,297	0,199
DV	2,72 (1,29)	20	No se asumen varianzas iguales				
Motorgear							
VN	4,21 (0,84)	26	Se asumen varianzas iguales	0,158	0,692	-1,551	0,126
DV	4,58 (1,06)	20	No se asumen varianzas iguales				
RP1							
VN	2,12 (0,96)	26	Se asumen varianzas iguales	1,881	0,175	-0,220	0,827
DV	2,18 (1,33)	20	No se asumen varianzas iguales				
RP2							
VN	4,32 (0,81)	26	Se asumen varianzas iguales	0,008	0,929	-2,393	0,020*
DV	4,80 (0,81)	20	No se asumen varianzas iguales				
Stimulus7							
VN	1,70 (0,70)	26	Se asumen varianzas iguales	3,360	0,072	-2,572	0,012*
DV	2,34 (1,20)	20	No se asumen varianzas iguales				
Stimulus3							
VN	1,96 (0,99)	26	Se asumen varianzas iguales	3,644	-0,061	-1,955	0,055
DV	2,54 (1,37)	20	No se asumen varianzas iguales				
C1 con WS							
VN	4,80 (0,62)	26	Se asumen varianzas iguales				
DV	5,20 (0,47)	20	No se asumen varianzas iguales	5,992	0,017*	-2,985	0,004**
C1 sin WS							
VN	4,34 (0,64)	26	Se asumen varianzas iguales	1,496	0,226	-2,782	0,007**
DV	4,83 (0,77)	20	No se asumen varianzas iguales				

Nota1: VN: Visión Normal, DV: Discapacidad Visual. Nota2: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Con el objetivo de conocer la magnitud de las diferencias encontradas entre ambas poblaciones se procede a calcular el tamaño del efecto mediante el estadístico de δ de Cohen y r .

Tabla 10. Tamaño del efecto. Ambiente 1. Problema de visión

Sonido	δ de Cohen	r
RP2	0,59	0,28
Stimulus7	0,65	0,31
C1 con WS	0,73	0,34
C1 sin WS	0,69	0,33

Nota: Calculado para sonidos que presentan diferencias estadísticamente significativas entre sus muestras.

Como se observa en la *Tabla 10* sobre tamaño del efecto las diferencias que se encuentran entre las muestras estudiadas son medianas indicado mediante el δ de Cohen.

Los datos obtenidos mediante el coeficiente r permiten conocer que los problemas de visión influyen en un 7,84% en el tiempo de reacción para el sonido *RP2*. Para el sonido *stimulus7*, los problemas de visión explican un 9,61% del tiempo de reacción tras la presencia de un estímulo auditivo. Así mismo, explica un 11,56% y un 10,89% del tiempo de reacción para los sonidos C1 con WS y el sonido CS sin WS, respectivamente.

5.5.2. Ambiente 2

Respecto al segundo ambiente, el cual sitúa al participante en una calle peatonal, los resultados de la prueba de t-Student se representan en la tabla final de este subapartado 5.5.2. en la *Tabla 11*.

Para realizar estos cálculos, de nuevo se calcularon los tres supuestos: normalidad, independencia y homocedasticidad.

- *Normalidad*: En primer lugar, para el sonido *refLL* en este segundo ambiente la prueba de Shapiro-Wilk muestra que no se cumple dicho supuesto para las poblaciones de personas con visión normal y personas con visión reducida al disponer respectivamente estos estadísticos de contraste: 0,92 ($p=0,038$) y 0,86 ($p=0,012$).

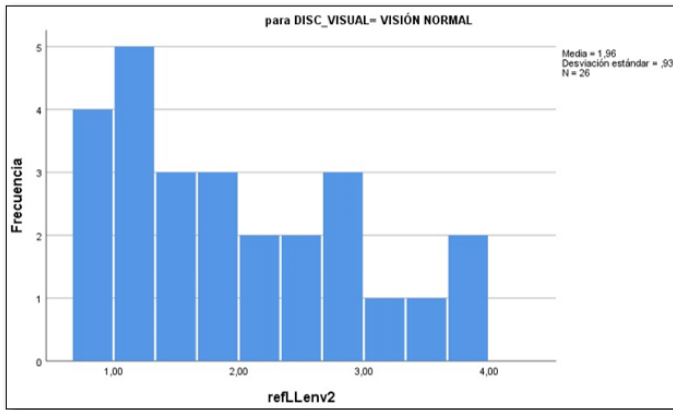


Figura 35.- Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (no se cumple) refLL

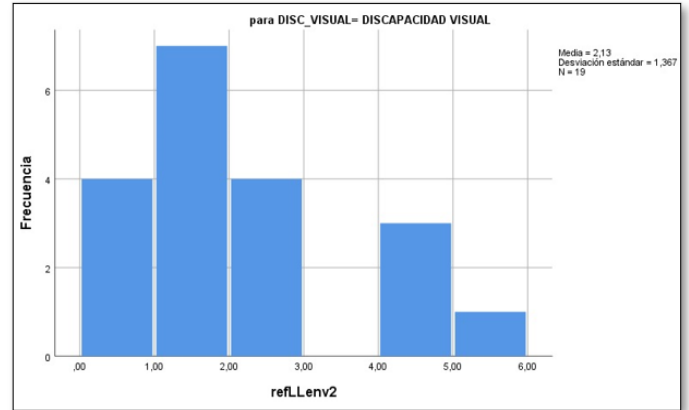


Figura 36.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (no se cumple) refLL

El sonido *motorgear* presenta una distribución normal en sus puntuaciones tanto para personas videntes como para personas invidentes al obtener los siguientes estadísticos de contrastes: 0,97 ($p=0,641$) para la población vidente y 0,92 ($p=0,105$) para la población invidente.

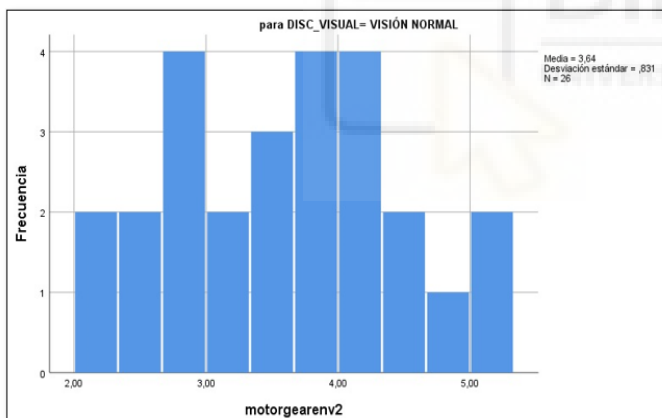


Figura 37.- Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (se cumple) motorgear

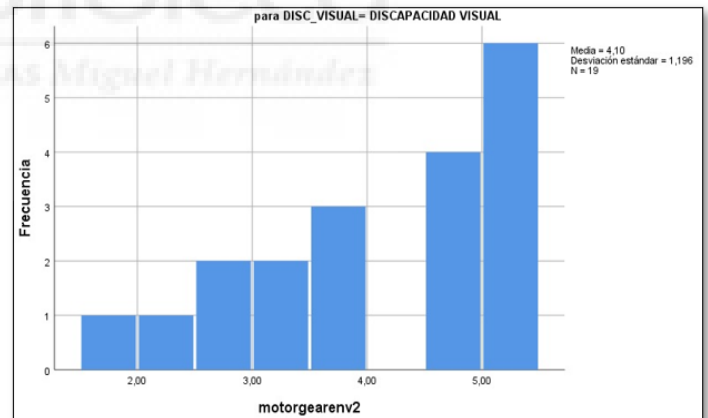


Figura 38.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (se cumple) motorgear

En cuanto al sonido *RP1*, este obtiene una puntuación en su distribución normal para las personas con visión normal de 0,95 ($p=0,258$) y para las personas con problemas de visión es de 0,85 ($p=0,007$) por lo que no se cumple en este caso el supuesto de normalidad.

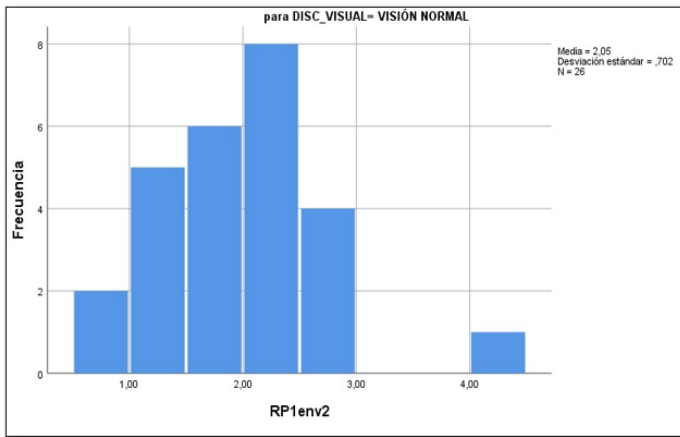


Figura 39.- Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (se cumple) RP1

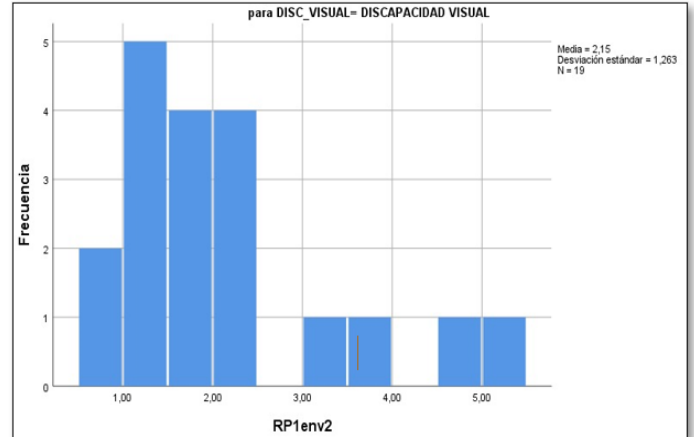


Figura 40.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (no se cumple) RP1

El siguiente sonido, *RP2* tiene como valores obtenidos tras los cálculos de Shapiro-Wilk para personas videntes 0,99 ($p=0,972$) cumpliéndose la normalidad y para personas invidentes 0,83 ($p=0,003$), de esta forma, no se cumple la normalidad.

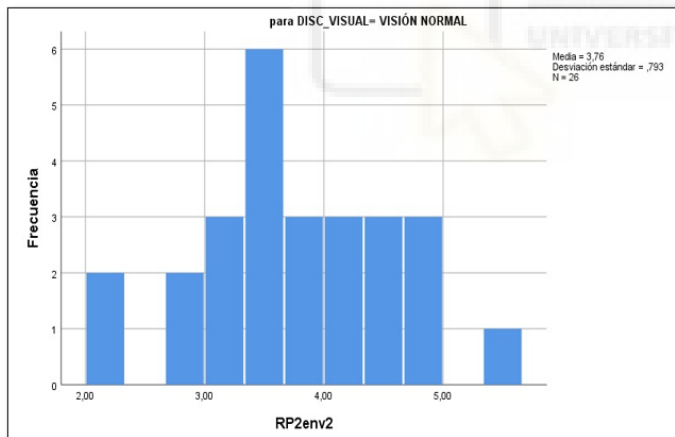


Figura 41.- Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (se cumple) RP2

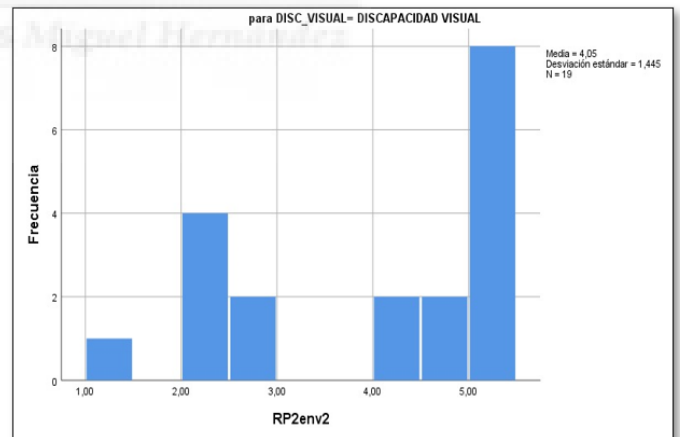


Figura 42.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (no se cumple) RP2

Con el sonido *stimulus7* no se cumple el supuesto de normalidad para las personas con visión normal con un valor de 0,84 ($p=0,001$) mientras que para las personas con problemas de visión se obtienen unos valores de 0,90 ($p=0,052$) cumpliéndose así el supuesto.

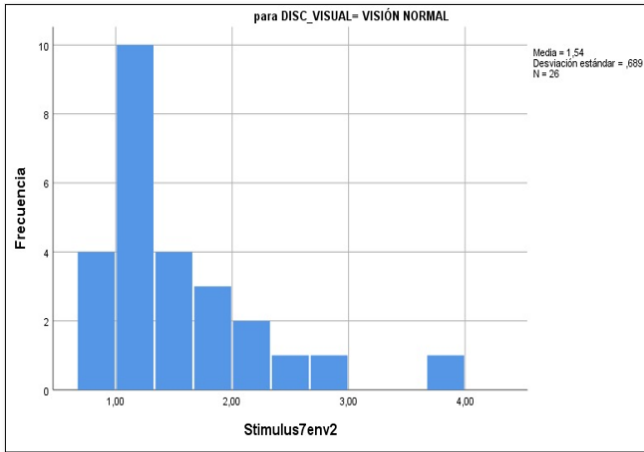


Figura 43.- Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (no se cumple) stimulus7

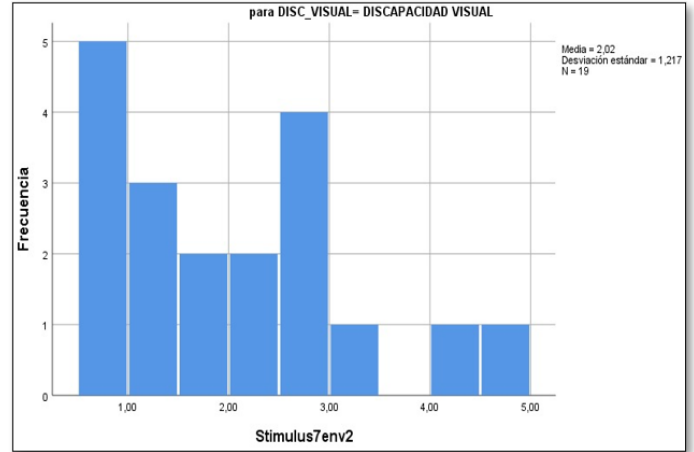


Figura 44.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (se cumple) stimulus7

Seguidamente para el sonido *stimulus3* se cumple el supuesto de normalidad en el grupo formado por personas sin patologías relacionadas con la visión, es decir, sus puntuaciones siguen una curva normal. El estadístico de contraste de este grupo es de 0,93 ($p=0,071$). Para las personas con problemas visuales al obtener el siguiente resultado con 0,90 ($p=0,044$) en la prueba de Shapiro-Wilk se concluye que no se cumple el supuesto.

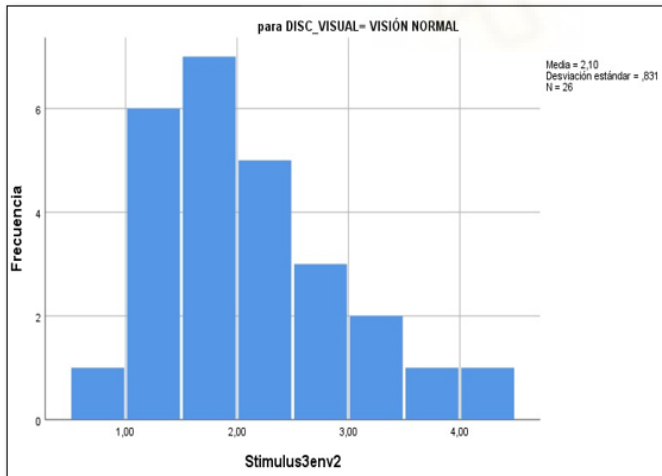


Figura 45.- Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (se cumple) stimulus3

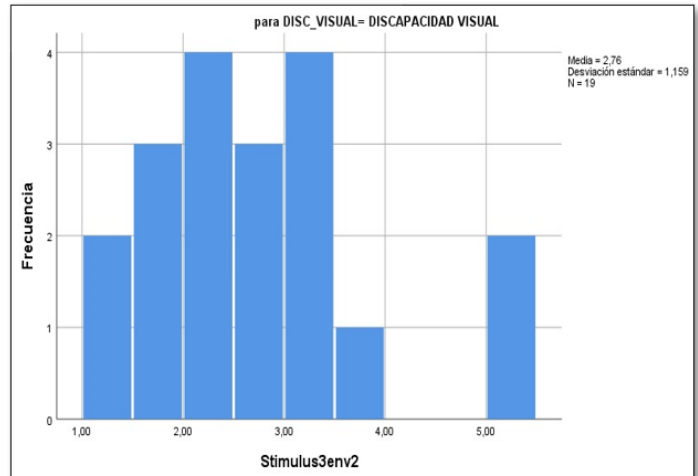


Figura 46.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (no se cumple) stimulus3

El sonido *C1 con WS* tiene como valores para las personas con visión normal 0,865 ($p=0,003$) no cumpliéndose el supuesto estudiado mientras que para las personas invidentes se obtiene una puntuación de 0,91 ($p=0,063$) cumpliéndose por tanto el supuesto para esta población.

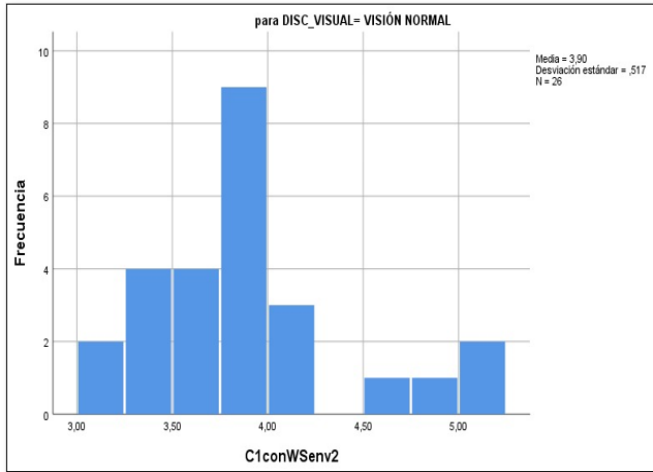


Figura 47.- Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (no se cumple) C1 con WS

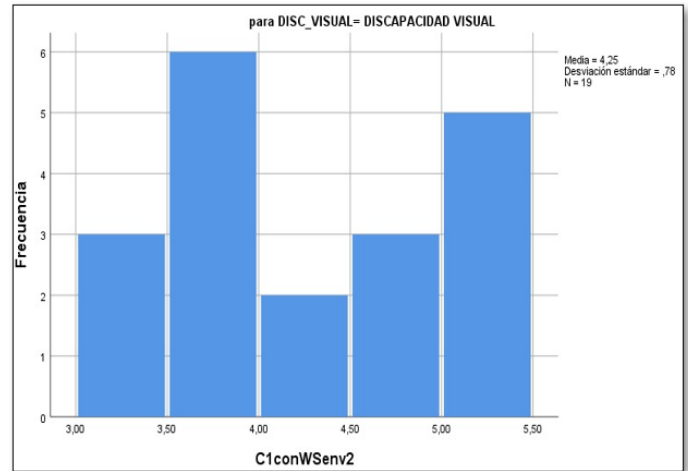


Figura 48.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (se cumple) C1 con WS

Por último, el sonido C1 sin WS presenta unos valores para personas con visión normal de 0,91 ($p=0,029$), por lo que no se cumple dicho supuesto, como sucede con las personas invidentes, siendo sus valores de 0,79 ($p=0,001$).

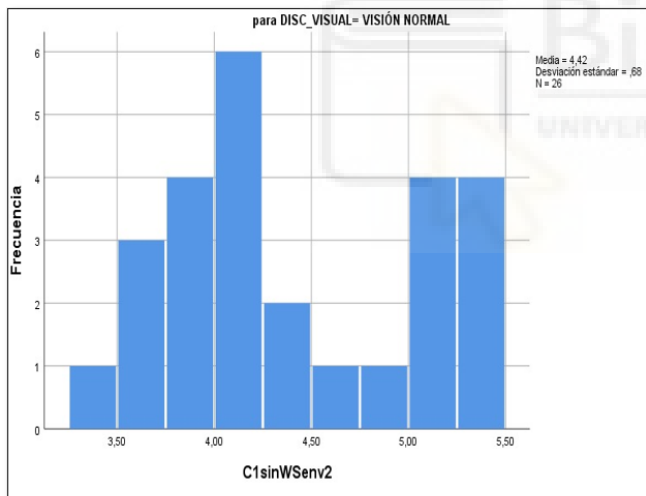


Figura 49.- Representación campana de Gauss para videntes en el ambiente 2 (no se cumple) C1 sin WS

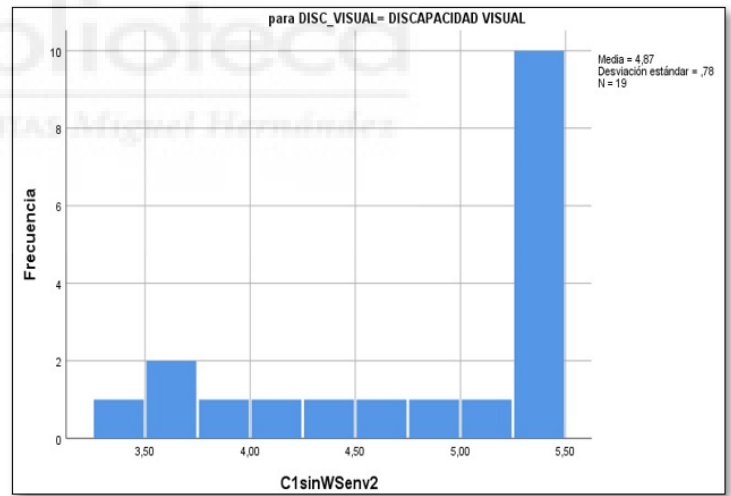


Figura 50.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 2 (no se cumple) C1 sin WS

En resumen, los supuestos de normalidad se cumplen para las personas con visión en los sonidos *motorgear*, *RP1*, *RP2* y *stimulus3*. Por otro lado, para las personas invidentes los sonidos que cumplen con el supuesto de normalidad son: *motorgear*, *stimulus7* y *C1 con WS*.

· *Independencia*: Los cálculos de independencia donde se observa si el error es fruto del azar y no son errores producidos durante la investigación muestran

unos resultados que se observan en la *Tabla 11* mediante la prueba de rachas y que indica que todos los valores son superiores a 0,05 cumpliendo el supuesto de independencia.

Tabla 11. Prueba de rachas para el ambiente 2

Estímulos auditivos	Valor de prueba ^a	p
refLL	1,69	0,997
Motorgear	3,73	0,548
RP1	1,94	0,998
RP2	3,85	0,548
Stimulus7	1,38	0,229
Stimulus3	2,09	0,548
C1 con WS	3,83	0,547
C1 sin WS	4,59	0,229

Nota 1: ^a: mediana. Nota 2: * $p < 0,05$.

· *Homocedasticidad*: Para este segundo ambiente, los resultados de la prueba de Leven indican que *RP1*, *RP1*, *stimulus3* y *C1 sin WS* tienen valores de significación, es decir, $p < 0,05$ lo que implica que no hay una homogeneidad en las respuestas. Los restantes sonidos como son *refLL*, *motorgear*, *stimulus7* y *C1 con WS* cumplen con el supuesto.

Finalmente, la prueba de t-Student (*Tabla 12*) muestra como los sonidos *stimulus3* y *C1 sin WS* presentan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de visión normal y los que poseen dificultades visuales al tener una probabilidad asociada $p < 0,05$. El resto de los sonidos no discriminan entre las poblaciones descritas, por lo que en dichos casos el tiempo de reacción es independiente a los problemas de visión.

Tabla 12. Resultados t-Student Ambiente 2. Problema de visión

Grupo	Estadísticos Descriptivos			Prueba de Levene		t-Student	
	Media	N		F	p	t	p
RefLL							
VN	2,03 (1,10)	26	Se asumen varianzas iguales	2,552	0,115	-0,602	0,550
DV	2,22 (1,46)	20	No se asumen varianzas iguales				
Motorgear							
VN	3,57 (0,95)	26	Se asumen varianzas iguales	3,283	0,075	-1,885	0,064
DV	4,07 (1,21)	20	No se asumen varianzas iguales				
RP1							
VN	2,02 (0,81)	26	Se asumen varianzas iguales				
DV	2,18 (1,33)	20	No se asumen varianzas iguales	5,121	0,027*	-0,591	0,557
RP2							
VN	3,79 (0,88)	26	Se asumen varianzas iguales				
DV	4,03 (1,34)	20	No se asumen varianzas iguales	7,996	0,006*	-0,866	0,390
Stimulus7							
VN	1,70 (1,08)	26	Se asumen varianzas iguales	1,975	0,165	-0,967	0,337
DV	1,98 (1,22)	20	No se asumen varianzas iguales				
Stimulus3							
VN	2,08 (0,91)	26	Se asumen varianzas iguales				
DV	2,70 (1,32)	20	No se asumen varianzas iguales	5,172	0,026*	-2,195	0,032*
C1 con WS							
VN	4,41 (0,73)	26	Se asumen varianzas iguales	0,260	0,612	-1,939	0,057
DV	4,78 (0,78)	20	No se asumen varianzas iguales				
C1 sin WS							
VN	3,92 (0,57)	26	Se asumen varianzas iguales				
DV	4,26 (0,76)	20	No se asumen varianzas iguales	5,980	0,017*	-2,048	0,045*

Nota1: VN: Visión Normal, DV: Discapacidad Visual. Nota2: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Una vez conocidos los resultados de t-Student y observar que los sonidos stimulus3 y C1 sin WS son estímulos auditivos que para el segundo ambiente son resultados significativos y que, por tanto, muestran diferencias entre las dos poblaciones, se pretende conocer la magnitud de las diferencias encontradas entre ambas poblaciones. Se procede a calcular el tamaño del efecto mediante el estadístico de δ de Cohen y r que se encuentran en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 13. Tamaño del efecto. Ambiente 2. Problema de visión

Sonido	δ de Cohen	r
Stimulus3	0,55	0,26
C1 sin WS	0,51	0,25

Nota: Calculado para sonidos que presentan diferencias estadísticamente significativas entre sus muestras.

En la *Tabla 13* se puede observar las diferencias encontradas entre las muestras según el criterio establecido por δ de Cohen en cuanto a la magnitud.

Los datos obtenidos mediante el coeficiente r permiten conocer que los problemas de visión influyen en un 6,76% en el tiempo de reacción para el sonido *stimulus7*. Para el segundo sonido, *C1 sin WS* los problemas de visión explican un 6,25% del tiempo de reacción tras la presencia de un estímulo auditivo.

5.5.3. Ambiente 3

El tercero de los ambientes, situado alrededor de un parque donde el nivel sonoro ambiental es inferior a los dos anteriores, se le realiza la prueba de T de Student donde sus resultados se muestran en la *Tabla 17*.

Previamente a la comparación de medias mediante el cálculo del estadístico t-Student se procede a calcular los supuestos necesarios para dicha prueba, en primer lugar:

- *Normalidad*: Como se ha mencionado anteriormente, dicho cálculo hace referencia a la distribución normal de las puntuaciones, lo que permite extrapolar los resultados obtenidos a otras poblaciones. La siguiente tabla resume los resultados obtenidos:

Tabla 14. Supuesto de normalidad para el ambiente 3 (Shapiro-Wilk). Problema de visión

Sonidos	Visión Normal		Discapacidad Visual	
	Estadístico	p	Estadístico	p
refLL	0,80	0,001**	0,79	0,001**
Motorgear	0,70	0,001**	0,89	0,034*
RP1	0,87	0,004**	0,80	0,001**
RP2	0,86	0,003**	0,89	0,036*
Stimulus7	0,75	0,001**	0,81	0,001**
Stimulus3	0,89	0,011*	0,83	0,004**
C1 con WS	0,76	0,001**	0,92	0,095
C1 sin WS	0,90	0,022*	0,89	0,047*

Nota: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

En la *Tabla 14* se detecta que todos los sonidos en todas las poblaciones estudiadas presentan una significación inferior a 0,05, lo que implica rechazar el cumplimiento de normalidad no pudiendo así extrapolar los resultados a otras poblaciones. Esta afirmación no se cumple para el grupo de personas con visión reducida en el sonido C1 con WS, en este caso sí se cumple el supuesto al disponer de unas puntuaciones que siguen la curva de la distribución normal. A continuación, se adjunta únicamente el gráfico que corresponde con la población en el que se sigue la distribución normal.

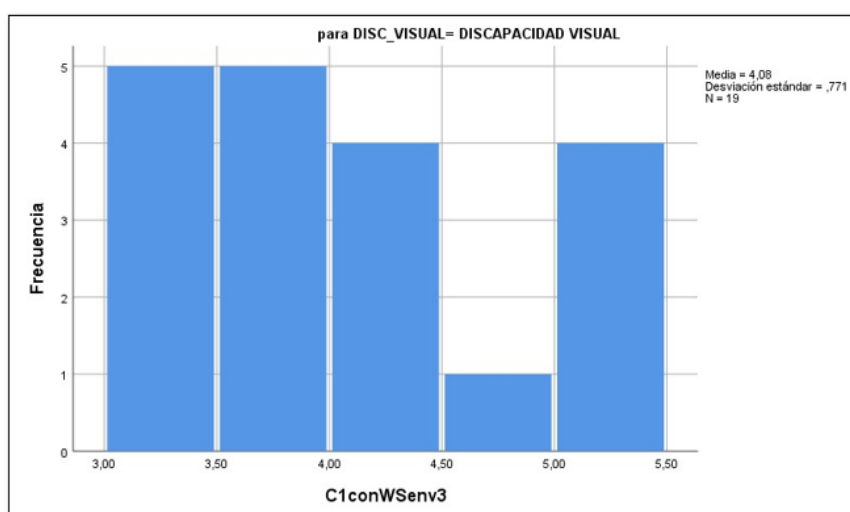


Figura 51.- Representación campana de Gauss para invidentes en el ambiente 3 (se cumple) C1 con WS

· *Independencia*: Este supuesto pretende detectar la causa de los errores cometidos. Si dicho supuesto se cumple, el origen de los errores es el azar, por lo que no dependería del investigador ni del control de variables. Con el objetivo de resumir los datos obtenidos en este tercer ambiente se adjunta la siguiente tabla:

Tabla 15. Prueba de rachas para el ambiente 3

Estímulos auditivos	Valor de prueba ^a	p
refLL	1,29	0,879
Motorgear	1,48	0,286
RP1	1,12	0,446
RP2	1,78	0,022*
Stimulus7	0,99	0,286
Stimulus3	1,12	0,879
C1 con WS	3,52	0,093
C1 sin WS	3,95	0,647

*Nota 1: ^a: mediana. Nota 2: *p<0,05.*

Los resultados muestran que para todos los sonidos se cumple con el supuesto de independencia excepto para el sonido *RP2* el cual posee una puntuación de 1,78 ($p=0,022$) no cumpliendo con el supuesto.

· *Homocedasticidad*: El tercer y último supuesto para el ambiente 3, se procede a calcular mediante la prueba estadística de Leven comprobando así la homogeneidad de las respuestas obtenidas. Para ello se muestra la Tabla 16 con los resultados correspondientes con dicha prueba. Se puede observar que existe una significación para los sonidos *RP2* con un valor de 4,419 ($p=0,040$); *C1 con WS* con un resultado de 8,433 ($p=0,0055$) y *C1 sin WS* obteniendo una puntuación de 9,201 ($p=0,007$).

Tabla 16. Resultados t-Student Ambiente 3. Problemas visión

Grupo	Estadísticos Descriptivos			Prueba de Levene		t Student	
	Media	N		F	p	t	p
RefLL							
VN	1,47 (0,89)	26	Se asumen varianzas iguales	2,015	0,161	-0,610	0,544
DV	1,64 (1,23)	20	No se asumen varianzas iguales				
motorgear							
VN	1,71 (1,08)	26	Se asumen varianzas iguales	1,831	0,181	-0,252	0,802
DV	1,79 (1,32)	20	No se asumen varianzas iguales				
RP1							
VN	1,31 (0,68)	26	Se asumen varianzas iguales	2,079	0,154	-0,362	0,719
DV	1,39 (1,33)	20	No se asumen varianzas iguales				
RP2							
VN	1,77 (0,92)	26	Se asumen varianzas iguales				
DV	2,13 (1,45)	20	No se asumen varianzas iguales	4,419	0,040*	-1,160	0,251
Stimulus7							
VN	1,17 (0,76)	26	Se asumen varianzas iguales	1,536	0,220	-0,739	0,463
DV	1,34 (1,01)	20	No se asumen varianzas iguales				
Stimulus3							
VN	1,31 (0,74)	26	Se asumen varianzas iguales	2,832	0,097	-0,869	0,388
DV	1,51 (1,04)	20	No se asumen varianzas iguales				
C1 con WS							
VN	3,91 (0,54)	26	Se asumen varianzas iguales				
DV	4,06 (0,79)	20	No se asumen varianzas iguales	8,433	0,005**	-0,907	0,368
C1 sin WS							
VN	3,56 (0,41)	26	Se asumen varianzas iguales				
DV	3,80 (0,70)	20	No se asumen varianzas iguales	9,201	0,007**	-1,713	0,093

Nota1: VN: Visión Normal, DV: Discapacidad Visual. Nota2: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

En cuanto al tercer ambiente, para los resultados de la prueba de t-Student no se encuentran resultados que sean estadísticamente significativos en ninguno de los sonidos estudiados que discriminen entre las poblaciones estudiadas, personas con una visión normal y personas con una dificultad visual, es decir, no existe una discriminación poblacional. Tanto una persona con problemas de visión como sin estos tardará el mismo tiempo en reaccionar a los sonidos del tercer ambiente. Todo ello demuestra que no existe una influencia de los

problemas de visión sobre el tiempo de reacción a dichos estímulos al disponer de una probabilidad asociada al estadístico t de $p > 0,005$.

5.6. ESTUDIO PARTICULAR DE DISCRIMINACIÓN PARA SONIDOS EN LOS DISTINTOS AMBIENTES: PROBLEMAS DE AUDICIÓN

Con el objetivo de no perjudicar a las poblaciones de riesgo, en este caso aquellas que presentan problemas de audición se procede a calcular si existen diferencias estadísticamente significativas entre personas con una audición normal y personas con problemas auditivos en cuanto a la detectabilidad de los sonidos estudiados para los tres ambientes.

5.6.1. Ambiente 1

Para este primer ambiente, se procede a calcular los estadísticos necesarios para detectar la existencia de diferencias en las poblaciones estudiadas. Para ello, se calculan los estadísticos pertinentes para los supuestos y posteriormente se compararán las medias mediante la prueba t-Student.

- *Normalidad*: Para conocer si la distribución sigue la distribución normal se calcula la prueba de Shapiro-Wilk. La siguiente tabla resume los resultados obtenidos:

Tabla 17. Supuesto de normalidad para el ambiente 1 (Shapiro-Wilk). Problemas audición

Sonidos	Audición Normal		Discapacidad Auditiva	
	Estadístico	p	Estadístico	p
refLL	0,93	0,035*	0,95	0,675
Motorgear	0,91	0,010*	0,65	0,001**
RP1	0,95	0,116	0,88	0,094
RP2	0,93	0,040*	0,55	0,001**
Stimulus7	0,93	0,034*	0,86	0,055
Stimulus3	0,95	0,147	0,91	0,260
C1 con WS	0,96	0,189	0,64	0,001**
C1 sin WS	0,87	0,001**	0,60	0,001**

Nota: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

Como se observa en la *Tabla 17*, los sonidos que presentan una distribución normal en sus puntuaciones tanto para personas con problemas auditivos como para personas con audición normal son: *RP1* y *stimulus3*. El sonido donde se cumple el supuesto para la población sin patologías auditivas es el *C1 con WS*. Por otra parte, los sonidos *refLL* y *stimulus7* en el grupo de personas con dificultades auditivas presenta una probabilidad asociada de $p > 0,05$, por lo que se asume la normalidad de las puntuaciones.

- *Independencia*: La prueba de rachas calcula sus estadísticos sin tener en cuenta las poblaciones estudiadas por lo que los resultados se muestran en la *Tabla 8* mencionada anteriormente. Por tanto, los sonidos que cumplen dicho supuesto en este primer ambiente son: *refLL*, *motorgear*, *RP1*, *RP2*, *stimulus7*, *stimulus3* y *C1 con WS*. En todos ellos, los errores se deben al azar.

- *Homocedasticidad*: La *Tabla 19* resume la prueba de Leven donde se confirma que los sonidos *refLL* y *motorgear* asumen varianzas iguales, lo que supone el cumplimiento del supuesto tratado al existir una homogeneidad en sus varianzas. Por el contrario, el resto de los sonidos no cumple con el supuesto.

La prueba t-Student afirma que los sonidos que no discriminan entre las poblaciones estudiadas son: *RP1*, *stimulus7* y *stimulus3*. Sin embargo, los sonidos *refLL*, *motorgear*, *RP2*, *C1 con WS* y *C1 sin WS* al presentar una probabilidad asociada al estadístico t de $p < 0,05$, si muestran diferencias entre las personas con problemas de audición y aquellas que no las poseen, por lo que los problemas de audición influyen sobre los tiempos de reacción en el ambiente 1.

Tabla 18. Tamaño del efecto

Sonido	δ de Cohen	r
refLL	0,55	0,27
Motorgear	1,02	0,46
RP2	1,66	0,64
C1 con WS	1,74	0,66
C1 sin WS	1,32	0,55

Nota: Calculado para sonidos que presentan diferencias estadísticamente significativas entre sus muestras.

Para conocer la magnitud de las diferencias encontradas se calcula el estadístico del tamaño del efecto δ de Cohen y r . En la *Tabla 18* se observa que para *refLL* el tamaño del efecto es mediano, mientras que para los otros cuatro sonidos restantes el tamaño del efecto proporcionado por δ de Cohen es muy grande, es decir, las diferencias encontradas entre las personas con problemas de audición y las personas con una audición normal son considerables. Los porcentajes que explica la presencia de problemas auditivos sobre el tiempo de reacción son: 7,29%; 21,16%; 40,96%; 43,56% y 30,25%, respectivamente.

Tabla 19. Resultados t-Student Ambiente 1. Discapacidad Auditiva

Grupo	Estadísticos Descriptivos		Prueba de Levene		t-Student		
	Media	N	F	p	t	p	
RefLL							
AN	2,70 (1,08)	35	Se asumen varianzas iguales	1,832	0,183	-2,491	0,017*
DA	3,41 (1,46)	11	No se asumen varianzas iguales				
Motorgear							
AN	4,28 (0,87)	35	Se asumen varianzas iguales	2,938	0,094	-2,938	0,005*
DA	5,13 (0,66)	11	No se asumen varianzas iguales				
RP1							
AN	2,16 (0,91)	35	Se asumen varianzas iguales				
DA	2,93 (1,51)	11	No se asumen varianzas iguales	4,846	0,033*	-1,587	0,138
RP2							
AN	4,48 (0,68)	35	Se asumen varianzas iguales				
DA	5,35 (0,29)	11	No se asumen varianzas iguales	5,347	0,026*	-5,969	0,001**
Stimulus7							
AN	1,90 (0,73)	35	Se asumen varianzas iguales				
DA	2,71 (1,63)	11	No se asumen varianzas iguales	18,289	0,001**	-1,597	0,138
Stimulus3							
AN	2,27 (0,93)	35	Se asumen varianzas iguales				
DA	3,24 (1,51)	11	No se asumen varianzas iguales	7,614	0,008**	-2,011	0,066
C1 con WS							
AN	4,46 (0,66)	35	Se asumen varianzas iguales				
DA	5,34 (0,27)	11	No se asumen varianzas iguales	12,235	0,001**	-6,315	0,001**
C1 sin WS							
AN	4,92 (0,56)	35	Se asumen varianzas iguales				
DA	5,45 (0,08)	11	No se asumen varianzas iguales	29,314	0,001**	-5,539	0,001**

Nota1: AN: Audición Normal, DA: Discapacidad Auditiva. Nota2: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

5.6.2. Ambiente 2

Para este nuevo ambiente, se realizan nuevamente los cálculos necesarios para detectar la existencia de diferencias en las poblaciones estudiadas. Para ello, se calculan los estadísticos pertinentes para los supuestos y posteriormente se compararán las medias mediante la prueba t-Student.

· *Normalidad*: Los resultados de los supuestos la normalidad se muestra en la *Tabla 20*:

Tabla 20. Supuesto de normalidad para el ambiente 2 (Shapiro-Wilk). Problemas audición

Sonidos	Audición Normal		Discapacidad Auditiva	
	Estadístico	p	Estadístico	p
refLL	0,91	0,009**	0,84	0,029*
Motorgear	0,97	0,576	0,92	0,330
RP1	0,95	0,137	0,82	0,016*
RP2	0,97	0,519	0,84	0,028*
Stimulus7	0,86	0,001**	0,93	0,401
Stimulus3	0,95	0,110	0,75	0,002**
C1 con WS	0,87	0,001**	0,95	0,629
C1 sin WS	0,91	0,009**	0,60	0,001**

Nota: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

Se cumple el supuesto de normalidad en ambas poblaciones para el sonido *motorgear*, para la población de audición normal los sonidos *RP1*, *RP2* y *stimulus3*, por último, para las personas con dificultad auditiva se cumplen en los sonidos: *stimulus7* y *C1 con WS*.

· *Independencia*: Como se observa en la *Tabla 11* en todos los sonidos cumplen el supuesto de independencia donde los errores se asumen que se deben al azar.

· *Homocedasticidad*: El cálculo realizado mediante la prueba de Leven muestra que los sonidos que cumplen con este supuesto son *refLL*, *motorgear*, *stimulus3*, *C1 con WS* y *C1 sin WS*. Se puede afirmar que estos sonidos presentan una homogeneidad en sus respuestas en cuanto al tiempo de reacción (*Tabla 21*).

Tabla 21. Resultados t-Student Ambiente 2. Discapacidad Auditiva

Grupo	Estadísticos Descriptivos			Prueba de Levene		t-Student	
	Media	N		F	p	t	p
RefLL							
AN	2,00 (1,03)	35	Se asumen varianzas iguales	1,570	0,217	-0,311	0,758
DA	2,16 (1,44)	11	No se asumen varianzas iguales				
Motorgear							
AN	3,78 (0,92)	35	Se asumen varianzas iguales	3,975	0,053	-0,552	0,584
DA	3,98 (1,30)	11	No se asumen varianzas iguales				
RP1							
AN	1,99 (0,76)	35	Se asumen varianzas iguales				
DA	2,40 (1,43)	11	No se asumen varianzas iguales	6,773	0,013*	-0,096	0,383
RP2							
AN	3,79 (0,98)	35	Se asumen varianzas iguales				
DA	4,18 (1,46)	11	No se asumen varianzas iguales	4,803	0,034*	-0,835	0,419
Stimulus7							
AN	1,57 (0,77)	35	Se asumen varianzas iguales				
DA	2,28 (1,32)	11	No se asumen varianzas iguales	4,927	0,032*	-1,688	0,117
Stimulus3							
AN	2,26 (0,89)	35	Se asumen varianzas iguales	2,401	0,129	-1,370	0,178
DA	2,74 (1,35)	11	No se asumen varianzas iguales				
C1 con WS							
AN	3,95 (0,62)	35	Se asumen varianzas iguales	0,785	0,381	-1,647	0,107
DA	4,32 (0,73)	11	No se asumen varianzas iguales				
C1 sin WS							
AN	4,46 (0,69)	35	Se asumen varianzas iguales	0,019	0,890	-2,362	0,023*
DA	5,05 (0,80)	11	No se asumen varianzas iguales				

Nota1: AN: Audición Normal, DA: Discapacidad Auditiva. Nota2: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

La prueba t-Student muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas poblaciones estudiadas en el sonido *C1 sin WS*. La magnitud de dichas diferencias es de δ de Cohen = 0,80 lo que supone un tamaño del efecto grande al alcanzar el umbral de este grupo, donde los problemas de audición explican un 13,69% del tiempo de reacción en el ambiente 2 para este sonido. El resto de los sonidos no presenta diferencias estadísticamente significativas entre las muestras a estudio.

5.6.3. Ambiente 3

Finalmente, para el estudio sobre los problemas auditivos para el tercer ambiente se calculan sus supuestos y por último el cálculo del t-Student.

- *Normalidad*: Los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla 22*.

Tabla 22. Supuesto de normalidad para el ambiente 3 (Shapiro-Wilk). Problemas audición

Sonidos	Audición Normal		Discapacidad Auditiva	
	Estadístico	p	Estadístico	p
refLL	0,85	0,001**	0,79	0,011*
Motorgear	0,78	0,001**	0,81	0,018*
RP1	0,79	0,001**	0,77	0,005**
RP2	0,87	0,001**	0,80	0,013*
Stimulus7	0,85	0,001**	0,76	0,004**
Stimulus3	0,87	0,001**	0,77	0,007**
C1 con WS	0,81	0,001**	0,85	0,059
C1 sin WS	0,88	0,001**	0,90	0,222

Nota: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

Para las personas con una audición normal no siguen la curva de normalidad, por lo que no se cumple el supuesto para esta población. Para las personas con dificultades auditivas se sigue el mismo patrón excepto para los sonidos *C1 con WS* y *C1 sin WS* donde se sigue la curva de la normalidad.

- *Independencia*: Los valores de la prueba de rachas del supuesto de independencia se muestran en la *Tabla 15* debido a que esta prueba no discrimina entre las poblaciones estudiadas.

- *Homocedasticidad*: Este supuesto calculado mediante la prueba de Leven nos indica que los supuestos se cumplen para los sonidos *motorgear*, *RP2* y *C1 sin WS*. Los restantes sonidos no cumplen con el supuesto como se muestra en la *Tabla 23*.

Tabla 23. Resultados t-Student Ambiente 3. Discapacidad Auditiva

Grupo	Estadísticos Descriptivos		Prueba de Levene		t-Student	
	Media	N	F	p	t	p
RefLL						
AN	1,48 (0,69)	35	Se asumen varianzas iguales			
DA	2,53 (1,79)	11	No se asumen varianzas iguales	44,729	0,001**	-1,823 0,099
Motorgear						
AN	1,80 (1,23)	35	Se asumen varianzas iguales		2,244	0,142 -1,268 0,212
DA	2,38 (1,45)	11	No se asumen varianzas iguales			
RP1						
AN	1,31 (0,74)	35	Se asumen varianzas iguales			
DA	1,86 (1,32)	11	No se asumen varianzas iguales	4,625	0,037*	-1,162 0,234
RP2						
AN	2,02 (1,19)	35	Se asumen varianzas iguales		1,001	0,323 -1,431 0,160
DA	2,67 (1,50)	11	No se asumen varianzas iguales			
Stimulus7						
AN	1,17 (0,54)	35	Se asumen varianzas iguales			
DA	1,91 (1,52)	11	No se asumen varianzas iguales	20,548	0,001**	-1,521 0,160
Stimulus3						
AN	1,29 (0,61)	35	Se asumen varianzas iguales			
DA	1,88 (1,46)	11	No se asumen varianzas iguales	13,394	0,001**	-1,252 0,239
C1 con WS						
AN	3,66 (0,53)	35	Se asumen varianzas iguales			
DA	4,08 (0,82)	11	No se asumen varianzas iguales	5,661	0,022*	-1,500 0,161
C1 sin WS						
AN	4,01 (0,65)	35	Se asumen varianzas iguales		0,455	0,504 -2,188 0,040*
DA	4,51 (0,71)	11	No se asumen varianzas iguales			

Nota1: AN: Audición Normal, DA: Discapacidad Auditiva. Nota2: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

La prueba t-Student muestra que no existen diferencias significativas entre las personas con problemas de audición y aquellas que no la poseen en cuanto a la detectabilidad del estímulo auditivo excepto para el sonido C1 sin WS donde se ha obtenido un valor de δ de Cohen = 0,74 lo que indica que la diferencia entre ambas poblaciones es mediana. Además, el coeficiente r nos permite saber que las personas con problemas de audición presentan un tiempo de reacción mayor en un 12,11% que las personas sin problemas de audición.

6. DISCUSIÓN

Este trabajo tiene como objetivo detectar el mejor sonido bajo diferentes criterios que permita implantarse en los vehículos eléctricos e híbridos, reduciendo así, la probabilidad aportada por National Highway Traffic Safety Administration [10] de sufrir accidentes donde se encuentren involucrados los peatones.

Con el fin de conectar este proyecto con la otra línea de investigación, donde se pretendía estudiar la molestia de los estímulos auditivos de los participantes. Se propone realizar un ranking de los sonidos utilizados bajo criterios como la valencia, la intensidad emocional y la respuesta adaptativa. Los sonidos *RP1* y *RP2* son considerados los mejores sonidos al tener una valencia positiva, es decir, ser descritos como agradables, una intensidad emocional alta y una respuesta adaptativa entorno al promedio. En este ranking les siguen los siguientes sonidos: *stimulus7*, *stimulus3*, *motorgear* y *C1 con WS*, al presentar una puntuación total inferior al combinar los criterios descritos.

Así pues, podemos concluir que los sonidos con un menor tiempo de reacción son: *stimulus7*, *stimulus3* y *RP1*. Dichos estímulos auditivos al disponer de menores cifras en cuanto al tiempo de reacción también disponen una menor incidencia a sufrir un accidente de tráfico donde intervienen peatones, reduciendo así la cifra obtenida por National Highway Traffic Safety [10]. Por ello, los vehículos que disponen de dicho sistema auditivo serán más seguros.

El tiempo de reacción de estos tres sonidos oscila entre 1,5 segundos y 3 segundos, cifras elevadas si son comparadas con el tiempo estimado según de Ashoke, Skikha y Sudarsan [23], quienes lo sitúan en apenas 8-10 milisegundos. Dicha diferencia se debe al involucrar en el ambiente diferentes estímulos irrelevantes y ruido que impiden discriminar y detectar eficazmente el sonido mostrado.

Por ello, este estudio realiza la exposición de sonidos en diferentes contextos para detectar la influencia del ambiente en la percepción de determinados estímulos auditivos, permitiendo así, seleccionar aquel sonido que no difiera entre los diferentes contextos en los que se presenta. Los resultados muestran, que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes 1

y 3, es decir, el tiempo de reacción es independiente al contexto. Esto no se cumple para el segundo ambiente, el cual no muestra correlación entre los otros dos anteriores. Dichos resultados apoyan en parte gracias al ambiente 2 la investigación realizada por Tudela-Garmendia [24], quienes afirman que el ruido y el ambiente sí influyen de forma significativa en la percepción de sonidos y en el tiempo de reacción. El hecho de no encontrar diferencias entre los ambientes 1 y 3 puede deberse a la alta correlación que existe entre ellos, lo que indica la similitud, donde el ambiente uno y dos son casi idénticos.

Continuando con la búsqueda del mejor sonido y al realizar un análisis exhaustivo entre personas con problemas de visión y personas con una visión normal, se puede concluir que los sonidos *RP2*, *stimulus7*, *stimulus3*, *C1 sin WS* y *C1 con WS* sí discriminan en dichas poblaciones, donde las personas sin ningún tipo de problema visual reaccionan antes al estímulo auditivo. Como muestran Altinsoy y Landgraf [21] dichas diferencias desaparecen si los sonidos se presentan en situaciones óptimas.

Partiendo de las premisas anteriores, se pretende indagar si aquellas personas que pertenecen a una población de riesgo presentan o no limitaciones en cuanto al tiempo de reacción, por ello, se procede a estudiar dichos sonidos sobre personas con problemas de audición, en este caso leve, y personas con una audición normal. Como muestran los resultados, los sonidos *RP1*, *stimulus7* y *stimulus3* el tiempo de reacción en ambas poblaciones es el mismo, lo que indica que en estos estímulos los problemas de audición no influyen sobre la detectabilidad del sonido. Cabe destacar, que para los ambientes 2 y 3, el sonido que discrimina entre las poblaciones es *C1 sin WS*.

Por todo ello, el mejor sonido teniendo en cuenta su implicación emocional al considerarse uno de los mejores sonidos bajo los criterios de molestia, intensidad emocional y respuesta adaptativa; el tiempo de respuesta donde tanto para personas invidentes como para videntes presenta un tiempo de reacción muy pequeño frente al resto de sonidos; y la discriminación entre las poblaciones de riesgo descritas, siendo nula al no encontrarse diferencias estadísticamente significativas, es el sonido *RP1*.

Sin embargo, dicho estudio presenta las siguientes limitaciones: en primer lugar, la muestra utilizada es de un total de 46 participantes, por lo que es considerada como pequeña, lo que implica una mayor dificultad para encontrar resultados estadísticamente significativos. Así mismo, la selección de dichos participantes se realiza mediante el muestreo no probabilístico bola de nieve, lo que puede llegar a influir negativamente los resultados obtenidos. Con el fin de aumentar el tamaño muestral, se pretendía durante los primeros meses del 2020 realizar más ensayos sobre nuevos participantes, pero debido a la situación sanitaria producida por la pandemia se tuvieron que posponer.

Esta investigación propone diferentes líneas de investigación futuras como el estudio en diferentes poblaciones como son las personas mayores, ya que como indica Tournier, Dommès, y Cavallo [7] las personas con una edad mayor a 65 años presentan una mayor incidencia en accidentes de tráfico. Además, se podría llevar a cabo el mismo estudio aumentando el número de participantes; la presencia de nuevos ambientes totalmente diferentes entre sí, que permitan estudiar el tiempo de reacción de los sonidos en contextos distintos; así como otras. Existe otra línea de investigación que permita conocer más a fondo la respuesta fisiológica del participante, permitiendo así comparar la parte psicológica con la física.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Click Koala y Empírica Influentials and Research (2019). Los españoles y el medio ambiente. Click Koala. Recuperado el 4 de julio de 2020 desde: <https://join.clickkoala.com/wp-content/uploads/2019/09/Los-Espa%C3%B1oles-y-el-Medio-Ambiente.pdf>
- [2] BOE. (2020). 121/000019 Proyecto de Ley de cambio climático y transición energética. Boletín oficial de las cortes generales. Recuperado el 4 de julio de 2020 desde: http://www.congreso.es/public_oficiales/L14/CONG/BOCG/A/BOCG-14-A-19-1.PDF
- [3] Campello, H (2014). Adaptación del modelo de predicción de ruido de tráfico rodado NMPB-ROUTES 2008 a la presencia de vehículos eléctricos. Tesis doctoral EPSE. Universidad Miguel Hernández de Elche.
- [4] Recio, A., Carmona, R., Linares, C., Ortiz, C. y Ramón, J. (2019). Efectos del ruido urbano sobre la salud: estudios de análisis de series temporales realizados en Madrid Sanidad. BOE. Recuperado el 4 de julio de 2020 desde: <http://gesdoc.isciii.es/gesdoccontroller?action=download&id=18/10/2016-72b28c0577>
- [5] Kerber, S. (2006). Das Fahrzeugaußengeräusch im urbanen Verkehr und seine Bedeutung für die Interaktion Fußgänger — Fahrzeug. ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, 108(7-8), 602–609.
- [6] Lelong, J. y Michelet, R. (2001). Passenger cars. Power unit and tyre-road noise, driving behaviour: what are the stakes?. In Inter.noise, The Hague.
- [7] Tournier, I., Dommès, A., & Cavallo, V. (2016). Review of safety and mobility issues among older pedestrians. Accident Analysis & Prevention, 91, 24–35.
- [8] Prevalence of Open-Angle Glaucoma Among Adults in the United States. (2004). Archives of Ophthalmology, 122(4), 532.
- [9] Goodes, P., Bai, Y. B. y Meyer (2008). Investigation into the detection of a quiet vehicle by the blind community. Proc. of Sound Quality Symposium, SQS08-023.

[10] Hanna, R. (2009). Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles. DOT HS 811 204, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC.

[11] Dalrymple, G. (2013). Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles. DOT NHTSA-2011-0100. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC.

[12] Organización Mundial de la Salud (2014). La mejora de la seguridad vial. Establecimiento de objetivos regionales y nacionales para la reducción de víctimas por accidentes de tráfico. Financiado por la Cuenta de las Naciones Unidas para el Desarrollo. NU. Recuperado el 5 de julio de 2020 desde:

https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/roadsafe/docs/Recommendations_2010s.pdf

[13] BOE. (2010). Orden VIV/561/2010. Documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados. Boletín oficial de las cortes generales. Recuperado el 6 de julio de 2020 desde: <https://www.boe.es/boe/dias/2010/03/11/pdfs/BOE-A-2010-4057.pdf>

[14] Wall Emerson, R., Naghshineh, K., Hapeman, J., y Wiener, W. (2011). A Pilot Study of Pedestrians with Visual Impairments Detecting Traffic Gaps and Surges Containing Hybrid Vehicles. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 14(2), 117–127.

[15] Geruschat, D. R., y Hassan, S. E. (2005). Driver Behavior in Yielding to Sighted and Blind Pedestrians at Roundabouts. Journal of Visual Impairment & Blindness, 99(5), 286–302.

[16] Dhammika, W. Using interactive simulation for EV sound evaluation. eVADER project (2014): Electric Vehicle Alert for Detection and Emergency Response project. Comisión Europea.

[17] Konet, H., Sato, M., Schiller, T., Christensen, A., Tabata, T., & Kanuma, T. (2011). Development of Approaching Vehicle Sound for Pedestrians (VSP) for Quiet Electric Vehicles. SAE International Journal of Engines, 4(1), 1217–1224.

- [18] Robart, R., Parizet, E., Chamard, J., Janssens K. y Bian-Cardi, F. (2013). eVADER: A Perceptual Approach to Finding Minimum Warning Sound Requirements for Quiet Cars.. AIA-DAGA 2013 Conference on Acoustics, 2013, Merano, Italy. pp.1.
- [19] Parizet, E., Robart, R., Ellermeier, W., Janssens, K. y Biancardi, F. (2014). Warning sounds for the electric vehicles. Fisita World Automotive Congress 2014,2014, Maastricht, Netherlands. pp.1.
- [20] Unión Europea (2014). Directiva 2014/47/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de abril de 2014, relativa a las inspecciones técnicas en carretera de vehículos comerciales que circulan en la Unión y por la que se deroga la Directiva 2000/30/CE.«DOUE» núm. 127, de 29 de abril de 2014, páginas 134 a 218 (85 págs.). UE. Recuperado el 6 de julio de 2020 desde: <https://www.boe.es/doue/2014/127/L00134-00218.pdf>
- [21] Altinsy, E. y Landgraf, J. (2014). Perceptibility of vehicle exterior sounds. ATZ worldwide Acoustics 86,50-58.
- [22] Huber, E., Chang, K., Álvarez, I., Hundle, A., Bridge H. y Fine I. (2019). Early Blindness Shapes Cortical Representations of Auditory Frequency within Auditory Cortex. Journal of Neuroscience. 39 (26) 5143-5152.
- [23] Ashoke, B., Skikha, D. y Sudarsan, B. (2010). Reaction time with respect to the nature of stimulus and age of male subjects. J Sport Health Res, 2(1):35-40.
- [24] Tudela-Garmendia, P. (2015). *Percepción y Atención*. Madrid: Centro Estudios Financieros.
- [25] Mariano Chóliz (2005). Psicología de la emoción: el proceso emocional. Universidad de Valencia. Recuperado el 7 de agosto de 2020 desde <https://www.uv.es/choliz/Proceso%20emocional.pdf>
- [26] Regueiro, A. M. (). CONCEPTOS BÁSICOS: ¿QUE ES EL ESTRÉS Y CÓMO NOS AFECTA? <https://www.uma.es/media/files/tallerestr%C3%A9s.pdf>