

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



"ESTUDIO DE LA RESPUESTA
EMOCIONAL GENERADA TRAS
LA EXPOSICIÓN A SONIDOS DE
ADVERTENCIA PARA
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS"

TRABAJO FIN DE GRADO

JULIO - 2021

AUTOR: Ignacio Martínez Meca

DIRECTORA: Nuria Campillo Davó

ÍNDICE

1. RESUMEN	9
2. INTRODUCCIÓN, PROBLEMÁTICA Y NECESIDAD	11
3. ESTADO DEL ARTE Y ANTECEDENTES	13
4. OBJETIVOS	21
5. FUENTES SONORAS EN VEHÍCULOS	23
5.1. FUENTES SONORAS TRADICIONALES.....	23
5.1.1. Ruido generado por el motor de combustión interna (vehículos tradicionales)	23
5.1.2. Ruido generado por la transmisión.....	24
5.1.3. Ruido generado por los frenos	24
5.1.4. Ruido provocado por la interacción neumático – pavimento	25
5.1.5. Ruido del escape (vehículos tradicionales)	26
5.1.6. Ruido aerodinámico.....	26
5.2. FUENTES SONORAS COMO AVAS.....	27
5.2.1. Posición de los altavoces para emisión de alertas acústicas	28
5.3. SONIDOS DE ADVERTENCIA EMPLEADOS EN EL ESTUDIO	28
6. METODOLOGÍA	31
6.1. MUESTRA Y PARTICIPANTES.....	31
6.2. VARIABLES EMOCIONALES A ESTUDIO	34
6.3. PROCEDIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN	35
7. RESULTADOS	43
7.1. RESULTADOS DE LOS TEST DE RESPUESTA EMOCIONAL	43
7.2. RESULTADOS DE LOS REGISTROS DE FRECUENCIA CARDÍACA.....	50
8. INTERPRETACIÓN Y RECODIFICACIÓN DE VARIABLES	53



9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
9.1. CORRELACIONES DE SPEARMAN	57
9.2. CLASIFICACIÓN PRELIMINAR DE SONIDOS.....	60
9.3. ANÁLISIS DISCRIMINANTE DE LOS SONIDOS PARA DISTINTAS POBLACIONES	61
9.3.1. Normalidad	64
9.3.2. Independencia	71
9.3.3. Homoscedasticidad y T – Student.....	72
9.4. EFECTO DE LOS SONIDOS EN LA RESPUESTA GALVÁNICA	88
10. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y FUTUROS ESTUDIOS	91
11. BIBLIOGRAFÍA.....	97



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de transmisión con sus diferentes partes. Fuente [46]	24
Figura 2. Sistema de freno de pinza. Fuente [47]	25
Figura 3. Componentes de un neumático. Fuente [48]	25
Figura 4. Esquema de un tubo de escape. Fuente [49]	26
Figura 5. Flujo aerodinámico a través de un vehículo. Fuente [50].....	26
Figura 6. Configuraciones de posición de altavoces para AVAS. Fuente [20]	28
Figura 7. Nivel de presión sonora de los sonidos a estudio excepto el C1 WS. Fuente [20].....	29
Figura 8. Gráfico género de la muestra	31
Figura 9. Gráfico audición de la muestra.....	32
Figura 10. Gráfico visión de la muestra	32
Figura 11. Gráfico edad de la muestra.....	32
Figura 12. Gráfico índice visión del ojo izquierdo.....	33
Figura 13. Gráfico índice visión del ojo derecho	33
Figura 14. Pulsioxímetro.....	37
Figura 15. Electrodo para registro de GDR.....	37
Figura 16. Gafas con cristales tapados.....	37
Figura 17. Módulo Arduino.....	37
Figura 18. Participante realizando el ensayo	37
Figura 19. Detalle de dos gráficas, extraídas de MATLAB. La primera de ellas, BMP, son las pulsaciones del individuo registradas durante la prueba, y la segunda gráfica es la respuesta galvánica GSR que indica la conductancia de la piel.....	38
Figura 20. Sección de la interfaz del software donde se introducen los datos sociodemográficos del participante	38
Figura 21. Gráfico de pulsaciones y de conductancia en MATLAB de un test completo de un sujeto aleatorio, claramente separado en ocho secciones, y señalizando el momento exacto de audición de los siete sonidos mediante pequeños rectángulos de borde azul, previamente a la formulación de las preguntas	41
Figura 22. Detalle de la figura 21 del tiempo de relajación previo y del Sonido 1 (audición y preguntas)	41



Figura 23. Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 1	43
Figura 24. Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 2	44
Figura 25. Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 3	44
Figura 26. Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 4	45
Figura 27. Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 5	45
Figura 28. Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 6	46
Figura 29. Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 7	46
Figura 30. Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 1	47
Figura 31. Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 2	47
Figura 32. Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 3	48
Figura 33. Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 4	48
Figura 34. Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 5	49
Figura 35. Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 6	49
Figura 36. Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 7	50



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores medios de las variables establecidas. Resultados para sujetos con ceguera o baja visión.....	51
Tabla 2. Valores medios de las variables establecidas. Resultados para sujetos con visión completa.....	51
Tabla 3. Correlaciones de Spearman entre las distintas variables emocionales básicas	59
Tabla 4. Medianas y desviaciones típicas de las 3 variables principales y su suma para los 7 sonidos.....	60
Tabla 5. Resultados del estudio de normalidad de la intensidad emocional relativo a la visión	64
Tabla 6. Resultados del estudio de normalidad de la intensidad emocional relativo a la audición	64
Tabla 7. Resultados del estudio de normalidad de la intensidad emocional relativo al género	65
Tabla 8. Resultados del estudio de normalidad de la intensidad emocional relativo a la edad	65
Tabla 9. Resultados del estudio de normalidad de la respuesta adaptativa relativo a la visión	66
Tabla 10. Resultados del estudio de normalidad de la respuesta adaptativa relativo a la audición	66
Tabla 11. Resultados del estudio de normalidad de la respuesta adaptativa relativo al género	67
Tabla 12. Resultados del estudio de normalidad de la respuesta adaptativa relativo a la edad	67
Tabla 13. Resultados del estudio de normalidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la visión.....	68
Tabla 14. Resultados del estudio de normalidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la audición	68
Tabla 15. Resultados del estudio de normalidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo al género.....	69
Tabla 16. Resultados del estudio de normalidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la edad.....	69
Tabla 17. Resultados del estudio de independencia de la intensidad emocional.....	71
Tabla 18. Resultados del estudio de independencia de la respuesta adaptativa	71



Tabla 19. Resultados del estudio de independencia del incremento de la frecuencia cardíaca.....	72
Tabla 20. Resultados del estudio de homoscedasticidad de la intensidad emocional relativo a la visión.....	73
Tabla 21. Resultados del estudio de homoscedasticidad de la intensidad emocional relativo a la audición.....	74
Tabla 22. Resultados del estudio de homoscedasticidad de la intensidad emocional relativo al género.....	75
Tabla 23. Resultados del estudio de homoscedasticidad de la intensidad emocional relativo a la edad.....	76
Tabla 24. Resultados del estudio de homoscedasticidad de la respuesta adaptativa relativo a la visión.....	77
Tabla 25. Resultados del estudio de homoscedasticidad de la respuesta adaptativa relativo a la audición.....	78
Tabla 26. Resultados del estudio de homoscedasticidad de la respuesta adaptativa relativo al género.....	79
Tabla 27. Resultados del estudio de homoscedasticidad de la respuesta adaptativa relativo a la edad.....	80
Tabla 28. Resultados del estudio de homoscedasticidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la visión.....	81
Tabla 29. Resultados del estudio de homoscedasticidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la audición.....	82
Tabla 30. Resultados del estudio de homoscedasticidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo al género.....	83
Tabla 31. Resultados del estudio de homoscedasticidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la edad.....	84
Tabla 32. Resultados del estudio de medianas con discriminación según características sociodemográficas.....	88







1. RESUMEN

En España y en el resto del mundo ha crecido exponencialmente en los últimos años una verdadera preocupación por los efectos del cambio climático. Debido a ello, se ha disparado el interés en el desarrollo y compra de tecnología limpia y sostenible. Uno de los ámbitos más afectados por esta situación es la industria del automóvil, de acuerdo con la regulación española [2]. Los vehículos híbridos y los plenamente eléctricos parecen ser el futuro, y están cada vez más y más en demanda, pero traen con ellos la problemática del bajo nivel sonoro – bastante menor que la de un vehículo con motor de combustión interna – que provoca multitud de accidentes [7], sobre todo involucrando peatones con ceguera o baja visión, con problemas de audición, ancianos, niños y/o ciclistas. Para solucionarla, se están implementando en cada vez más vehículos sistemas de emisión de alertas sonoras artificiales que avisen de su proximidad, especialmente a los miembros de los colectivos previamente mencionados. Pese a ello, estos sistemas también acarrearán el problema de la molestia y el desagrado que puedan provocar. El principal objetivo del presente estudio es analizar y estudiar una serie de estos sonidos artificiales – desde el punto de vista de la molestia y la respuesta emocional en los participantes – para analizar cómo afectan a los diferentes sujetos, descubrir sus ventajas y desventajas, realizar una clasificación para descubrir el sonido óptimo, y estudiar su posterior potencial implantación en vehículos silenciosos, siguiendo las directrices de la Unión Europea [9]. El estudio se llevó a cabo con 63 participantes: 29 con visión completa y 34 con ceguera o baja visión, estudiando también la discriminación poblacional según edad, género y nivel auditivo.

Este proyecto se enmarca dentro de la línea de investigación que el Laboratorio de Ingeniería Acústica y Vibraciones de la Universidad Miguel Hernández de Elche lleva a cabo sobre sonidos de advertencia en vehículos eléctricos. Este proyecto es también multidisciplinar, pues también se ha colaborado con el Dpto. de Psicología de la salud de la UMH a través de la participación del profesor Álvaro García del Castillo.



Palabras clave: Molestia; Desagrado; Intensidad emocional; Aumento de la frecuencia cardíaca; Respuesta adaptativa; Activación; Ceguera o baja visión; Sonidos de advertencia; Vehículos híbridos y eléctricos; Motores de combustión interna; AVAS; Respuesta galvánica.



2. INTRODUCCIÓN, PROBLEMÁTICA Y NECESIDAD

Durante los últimos años, lleva existiendo, tanto en España como en el resto del mundo, una creciente preocupación por los efectos del cambio climático a escala global debido a los gases emitidos a la atmósfera y al efecto invernadero por la actividad humana. Las previsiones de los expertos indican que la situación está cerca de convertirse en irreversible, ya que estos efectos aumentan cada vez más, y que se requiere de acciones inmediatas y unificadas por parte de todas las naciones del planeta para poder llegar a una solución antes de que sea demasiado tarde.

Estudios elaborados por ClicKoala y por Empírica Influentials and Research en 2019 [1] indicaron que para el 67% de la población española, es un problema muy preocupante. Las cifras aumentan al 78% entre la gente joven de 16 a 30 años. Debido a esto, la gente está adquiriendo cada vez más consciencia sobre los beneficios de formas de transporte alternativas como los vehículos híbridos o plenamente eléctricos.

Dichos vehículos, a los que nos referiremos aquí como EVs (Electric Vehicles) y HEVs (Hybrid Electric Vehicles) a partir de aquí, se proyectan para ser el futuro de la movilidad sostenible, en oposición a los vehículos de combustión interna, ICEs (Internal Combustion Engines), debido a la gran reducción, tanto de gases contaminantes emitidos a la atmósfera, como a la reducción del ruido producido por su funcionamiento.

En España, dos legislaciones tratan de controlar escalonadamente dichas reducciones: el proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética (PLCCTE) [2], que espera que a partir del 2040 se reduzca la venta de vehículos diésel, gasolina e híbridos (pese a que no está previsto prohibir su venta), y por otro lado el Real Decreto 1367/2007 del 19 de octubre [3] que estableció objetivos de calidad a cumplir en lo referente a zonificación y emisiones acústicas, siendo el más importante que la emisión de ruido de ciclomotores y vehículos con motor de combustión interna no podrán sobrepasar un valor de nivel de emisión sonora límite que resulte de la suma de 4 dB (A) al nivel de emisión sonora que figura en la ficha de homologación del vehículo (ensayo a

vehículo parado).

En su estudio, Campello [4] estableció que un vehículo EV o HEV a velocidades bajas (20 – 30 km/h) emite un sonido de unos 5 dB (A) más bajo que un ICE, debido al prácticamente nulo sonido emitido por el motor eléctrico. Este dato, corroborado por un estudio del JASIC (Japanese Automobile Standards Internationalization Centre, [10]) es de especial significancia, debido a que este rango de velocidades es habitual en el interior de áreas urbanas, con el consiguiente beneficio para sus habitantes. Si se baja más el rango a los 0 – 20 km/h se encuentra que el efecto es aún mayor (diferencia de hasta 7 dB (A)), debido a que, en esas situaciones, las emisiones sonoras del vehículo son prácticamente nulas, ya que solo el ruido de la interacción entre los neumáticos y el pavimento será audible. Por otro lado, cuando se aumenta la velocidad por encima de los 40 km/h, ambos tipos de vehículo son igualmente ruidosos puesto que dicho ruido provocado por la interacción neumático – pavimento se convierte en la fuente de sonido más importante. Esta última parte fue confirmada por Lelong y Michelet [5].

La Escuela Nacional de Sanidad (ENS), realizó un estudio [6] sobre dichos efectos en la salud de las personas y llegó a la conclusión de que este es un problema de salud pública, con efectos equivalentes aproximadamente a los de la contaminación química.

Sin embargo, pese a sus múltiples ventajas, el uso de vehículos EV y HEV no viene sin sus correspondientes inconvenientes. El bajo nivel de emisión sonora provoca serias preocupaciones acerca de la seguridad vial de ciertos colectivos vulnerables, tales como ciclistas, peatones y viandantes, niños, ancianos, y ciudadanos con todo tipo de problemas visuales y auditivos.

Es por ello que en los últimos tiempos se han producido múltiples estudios a lo largo y ancho del planeta, estudiando a fondo esta problemática y tratando de encontrar soluciones a ella.



3. ESTADO DEL ARTE Y ANTECEDENTES

Se debe empezar mencionando un estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud [7] que describe los problemas a los que se enfrentan los viandantes con diversos niveles de problemas visuales en lo relativo a los potenciales accidentes que podrían ocasionar EVs y HEVs. La OMS propone soluciones mediante la adición de sistemas de emisión de alertas artificiales (AVAS, Artificial Vehicle Alert Systems) para poder detectar la aproximación de este tipo de vehículos.

Comprendiendo las grandes potencias (Unión Europea, Japón, EE. UU.) también la seriedad de la situación, se han realizado un buen número de estudios a niveles gubernamentales e internacionales [8-15], con una gran cantidad de recursos económicos y de personal invertidos.

Las regulaciones europeas [8, 9] han establecido que un AVAS es aceptable cuando su sonido sea *“similar al sonido de un vehículo de la misma categoría equipado con un motor de combustión interna y el nivel sonoro no exceda aquel de un vehículo similar con un motor de combustión interna”*.

Con el mismo propósito, el Ministerio de Fomento, Infraestructura, Transporte y Turismo japonés (MLITT), junto al Centro Japonés de Internacionalización de Estándares Automovilísticos (JASIC) [10] conjuntamente emitieron directrices para sonidos producidos por vehículos en las que se recomiendan que un AVAS continuo sea requerido por debajo de los 20 km/h y en todo momento en el que el vehículo fuese marcha atrás. Este sonido tendría que variar en volumen o tono con la velocidad para indicar la tasa de acercamiento y nunca exceder el de un ICE a 20 km/h [11].

En Estados Unidos, desde 2008 se requiere por legislación [12] que el Secretario de Transporte estudie la implementación de alertas no visuales en EVs y HEVs.

Garay-Vega, Hastings, Pollard, Zuschlag y Stearns [13], trabajando para la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) demostraron que, en una ciudad, debido al alto nivel del ruido ambiental creado por el tráfico, el nivel



de sonido emitido por EVs y HEVs sin AVAS hace que sea muy difícil para los peatones – y más aún para aquellos con ceguera o baja visión – detectarlos.

Por otro lado, otro estudio realizado por Hanna [14] para la misma organización confirmó que los vehículos eléctricos e híbridos causan casi el doble de accidentes con viandantes que los vehículos con ICEs tradicionales, y debido a ello, se ha propuesto una regulación [15] para controlar los requisitos sonoros mínimos en EVs y HEVs.

Un último estudio, de nuevo para la NHTSA, por Wu, Austin y Chen [16], esta vez añadiendo datos de accidentes que involucran ciclistas, confirmó los hallazgos anteriormente mencionados, aunque señalando que no pueden sacarse conclusiones absolutas debido al bajo número de EVs y HEVs que se habían vendido en EE. UU. hasta la fecha.

De especial importancia es también el proyecto eVADER [17], en el que Nissan (propiedad del grupo Renault) se alió con la UE para ser pioneros en el uso de AVAS en vehículos híbridos y eléctricos. El primer automóvil de Nissan en incluir uno de estos sistemas fue el Leaf, que salió a la venta en 2010. Dicho sistema se llamó VSP (Vehicle Sound for Pedestrians), y emitía sonidos a bajas velocidades. Konet, Sato, Schiller, Christensen, Tabata y Kanuma [18] fueron los impulsores de este sistema.

Por supuesto, también se han realizado multitud de análisis en gran número de universidades y centros privados internacionalmente. Sin ir más lejos, varios profesores de esta misma universidad (Peral, Campillo, Campello) se han unido para participar en varios de ellos junto a colegas de otros centros educativos, como así demuestran varios estudios [19-23].

Por ejemplo, los resultados preliminares de uno de ellos realizados [22] demostraron que los participantes necesitaron más tiempo para detectar un vehículo silencioso aproximándose, en comparación con un vehículo con ICE. Estos resultados pueden traducirse en un mayor riesgo para los peatones, ya que la detección del vehículo tiene lugar a una distancia más corta del sujeto. La diferencia entre la detectabilidad de ambos tipos de vehículos fue de una media

de siete metros. El uso de un AVAS aumenta significativamente la detectabilidad, pero no se encontró una relación lineal entre dicha detectabilidad y la frecuencia sonora de los sonidos más fácilmente detectables.

Otro de dichos estudios [23] confirmó que la quietud de EVs y HEVs contribuye a la eliminación de la contaminación sonora en áreas urbanas, pero subrayando que la ausencia de sonido a bajas velocidades no puede alertar a los peatones de los vehículos que se aproximen.

Altinsoy y Landgraf [24] determinaron que los AVAS debían emitirse en las condiciones más perfectas posibles para ser percibidos en el menor tiempo que sea posible.

Wall Emerson, Naghshineh, Hapeman y Wiener [25] examinaron los patrones de comportamiento de los peatones con ceguera o baja visión al cruzar la calle. La investigación concluyó que este colectivo por lo general experimenta dificultades a la hora de proceder con estas acciones.

Kerber [26] demostró que el tiempo de reacción de una persona corriente que esté prestando atención al tráfico suele ser de unos 0,7 s de media, y que, si la persona está distraída, ese tiempo de reacción se dispara hasta los 1,5 s de media.

Fleury, Jamet, Roussaire, Bosc y Chamard [27] realizaron un par de experimentos dentro del mismo estudio, concluyendo en uno de ellos que, tanto para personas invidentes, como para personas videntes, pero con los ojos tapados, la percepción de velocidad de un vehículo EV y/o HEV sin AVAS incorporados es siempre más alta que la velocidad real de dicho vehículo, y que la sobreestimación se acrecienta cuando se añaden los AVAS. En el segundo, cogieron dos vehículos silenciosos (con y sin AVAS) y siguieron a personas al azar – que estuviesen o no ocupadas hablando entre sí o mirando un móvil, y que estuviesen solas o en grupo – por una zona universitaria midiendo el tiempo que tardaban en darse cuenta de la presencia del vehículo. Las conclusiones a las que llegaron fueron que en algunos casos los sujetos tardaban el doble de tiempo o casi en reconocer al vehículo sin AVAS en comparación con el vehículo

que sí llevaba, y que estando en grupos de tres o más, los sujetos tardaban más en reconocer el vehículo que estando solas, pero menos que yendo en pareja.

Más literatura útil que añada pruebas extra a todas estas conclusiones y recomendaciones puede encontrarse en otros estudios [28-30].

Cabe destacar que no todos los estudios reman en la misma dirección. Sandberg [31] propone que la mayoría de los accidentes en los que las personas con ceguera o baja visión se ven involucradas generalmente no son provocados por turismos, sino por otro tipo de vehículos, y que reducir el nivel sonoro máximo de las ciudades – en lugar de aumentar el nivel sonoro de EVs y HEVs – es la mejor forma de promover la salud y la seguridad.

De cualquier manera, es significativo que todos los estudios referenciados hasta el momento tratan el tema de la detectabilidad de dichos vehículos, y de su facilidad y/o cercanía al vehículo para realizarla. Sin embargo, hay otro aspecto de suma importancia que considerar, y al que está dedicado el presente estudio: el nivel de molestia que estos sonidos artificiales pudieran crear, y sus potenciales efectos secundarios adversos, no solo en los colectivos directamente afectados, sino también en el grueso de la población.

Se ha encontrado poca literatura al respecto, en comparación con los estudios de detectabilidad. Pese a ello, sí hay algunos estudios previos relevantes, en los que merece la pena detenerse un poco más debido a su importancia para el presente trabajo.

Uno de ellos, ya mencionado anteriormente, ha sido realizado en esta misma institución [22] En él, 12 sujetos escucharon ocho propuestas diferentes de AVAS, junto al sonido de un coche con motor diésel y al sonido de un HEV sin AVAS, y se llegó a la conclusión de que el ruido producido por el coche diésel causaba más confort que el resto de los estímulos.

Wogalter, Ornan, Lim y Chipley [32] preguntaron a un grupo de 285 participantes por el tipo de AVAS que les resultarían menos molestos, de entre varias opciones mencionadas en un cuestionario. 31 no respondieron, pero 109 dijeron que preferían un sonido que imitase al de un ICE, y otros 109 se

decantaron por el sonido de un zumbido. El resto eligieron diversas opciones tales como música (8), pitido (5), bocina (5), click (2) o tubo de escape (2). Además, el 84% de los participantes afirmaron considerar la compra de un híbrido, mientras que el 72% afirmó considerar la compra de un vehículo plenamente eléctrico. Un 48% dijeron sentirse molestos como peatones por los vehículos silenciosos, mientras que un 30% afirmaron sentirse molestos por dichos vehículos, como conductores. Finalmente, el 68% indicaron su creencia de que incluir algún tipo de AVAS sería beneficioso y seguro para peatones.

En un estudio posterior, Nyeste y Wogalter [33] consideraron que juicios hechos basándose en el nombre de los sonidos, no tenían por qué coincidir con juicios hechos al escuchar dichos sonidos, así que realizaron un estudio con 24 participantes en el que se escogieron seis sonidos (ICE, bocina, zumbido, sirena, silbido y ruido blanco), con tres variaciones de cada uno, para un total de 18 muestras, que los participantes debían calificar según su aceptabilidad como sonido añadido a vehículos silenciosos. Los sujetos escucharon los 18 sonidos en orden aleatorio en el interior de una sala. Al escuchar cada sonido, debían ponerle nota, siendo 0 para nada aceptable, y 5 absolutamente aceptable. Al finalizar, también se preguntó a los participantes que eligiesen cuál era el sonido que más preferían y cuál era el que menos. De más a menos aceptabilidad, los resultados fueron: ICE, ruido blanco, zumbido, silbido, bocina y sirena. Ese fue también el orden de resultados a la pregunta del sonido preferido, mientras que, en los resultados del sonido menos preferido, las respuestas fueron justo las opuestas, con la excepción de que el menos preferido fue la bocina y el segundo fue la sirena.

Fagerlönn, Sirkka, Lindberg y Johnsson [34] realizaron dos experimentos como parte de un mismo estudio:

En el primero, 39 participantes en grupos de cinco entran en una sala aislada y se les dice que van a escuchar sonidos de EVs y HEVs, aunque no se les habla de los AVAs. Los cinco vehículos simulados son eléctricos/híbridos: uno normal (sonido base) y cuatro con sonidos varios incorporados artificialmente (un sonido de imitación de un ICE, una amplificación del sonido natural de un EV, el AVAS

de un Nissan Leaf y un sonido con pulsaciones que se aceleran conforme el vehículo aumenta su velocidad). Al finalizar se les pidió a los sujetos que puntuasen su nivel de utilidad/aceptación, satisfacción/respuesta emocional y disposición para comprar el vehículo, haciendo preguntas en un rango del 1 al 5 sobre parámetros como inútil/útil, malo/bueno, superfluo/efectivo, sin valor/servicial, inductor del sueño/alarmante, desagradable/agradable, irritante/simpático, molesto/aceptable. En cuanto a aceptación, el sonido imitación del ICE y la amplificación del EV empataron a la cabeza de la lista. En cuanto a respuesta emocional, los participantes consideraron el sonido base como en más positivo y relajante, mientras que en lo relativo a intención de compra, el sonido base y la imitación del ICE fueron los más valorados.

En el segundo experimento, 18 participantes en grupos de tres se ponen en el borde del asfalto en un circuito cerrado, imaginando que se encuentran junto a una carretera, a unos dos metros de la trazada de los vehículos. Varios vehículos del estudio anterior (el normal que no incluye AVAS, el que emite pulsaciones y el que imita el sonido del Nissan) pasan por delante de los sujetos a diferentes velocidades y al finalizar se realiza a los sujetos las mismas preguntas que en el estudio anterior. En lo relativo a utilidad, se impuso el sonido del Leaf, mientras que en lo relativo a satisfacción, el sonido base y el del Nissan fueron los mejores valorados, y finalmente el sonido base fue el líder en la categoría de intención de compra.

Freitas, Mendonça, Santos, Murteira y Ferreira [35] estudiaron la manera en la que distintos tipos de pavimentos (adoquines, asfalto denso y asfalto modificado con caucho, a temperaturas de entre 5 y 50°C), velocidades de vehículos (30, 40, 50, 60 y 70 km/h) y densidad de tráfico (cinco vehículos separados 2,5s entre ellos y 15 vehículos separados 1s entre ellos) afectan los niveles de molestia de los ciudadanos. 96 sujetos participaron en el experimento. Todos se hicieron test de audición previos para evitar cualquier tipo de deficiencia grave. A cada uno de los estímulos sonoros se le revirtieron los canales para evitar sesgos interaurales. Cada uno de los estímulos de este total fue repetido dos veces. De esta forma, cada participante escuchó 120 estímulos (3 pavimentos x 5 velocidades x 2 densidades de tráfico x 2 secuencias de canales



x 2 veces) de manera aleatoria – para evitar predisposiciones – en el interior de una sala vacía. Se pidió a los participantes que calificasen los sonidos del 1 (menos molesto) al 10 (más molesto). Como era de esperar, los resultados indicaron que el pavimento de adoquines es el más molesto, seguido por el asfalto denso, y que, en cualquier tipo de pavimento, el incremento de la velocidad y el incremento de la densidad de tráfico, suponen un incremento en la molestia (de hecho, la media de votaciones es cercana a 10 en los sonidos de máxima densidad sobre calzadas de adoquines, sin demasiada variación dependiendo de la velocidad).





4. OBJETIVOS

La Universidad Miguel Hernández ha desarrollado recientemente un estudio interdepartamental financiado por la Generalitat Valenciana para estudiar la detectabilidad en EVS y HEVs, así como la molestia provocada por los AVAS en dichos vehículos.

Es por ello que, pese a compartir metodología, se ha separado la investigación y el análisis de ambas partes en dos trabajos diferenciados que cubren los dos aspectos que se acaban de mencionar, y que se exponen en dos Trabajos de Fin de Grado:

El análisis del estudio de detectabilidad ha sido realizado por Daniel Quereda Gomis [36], en un TFG ya defendido, llamado “Detectabilidad sonora en vehículos eléctricos”, mientras que, en el actual trabajo, se procederá a analizar los resultados del estudio de molestia.

De acuerdo con los experimentos realizados pues, se pasa entonces a describir los objetivos impuestos previamente a comenzar el estudio, así como los resultados esperados.

Los objetivos principales son dos: el primero se centra en clasificar diferentes sonidos de advertencia, en función de la respuesta emocional que desarrollan las personas que escuchan estos sonidos. Con esta clasificación, se desea encontrar el sonido de advertencia óptimo, que además deberá:

- Poder introducirse en la mayor cantidad posible de vehículos silenciosos, independientemente de modelo y marca, con el objetivo de normalizar – pero sin alterar ni elevar sustancialmente – el mapa de ruido de una ciudad o núcleo urbano determinado.
- Ser seguro para todo tipo de peatones y viandantes, y especialmente para los colectivos más vulnerables ya mencionados anteriormente.
- No afectar negativamente de manera directa o indirecta a la salud física, mental o emocional de los habitantes.
- No suponer diferencias estadísticamente significativas entre personas con ceguera o baja visión y personas con visión completa.



Se asume que, debido a la familiaridad, los participantes considerarán el sonido imitación de un ICE más fácil de detectar y menos molesto que otros sonidos propuestos.

El otro objetivo es comprobar cómo afectan emocional y fisiológicamente los diferentes sonidos propuestos a los distintos participantes dependiendo de sus condiciones particulares: edad, género, visión y audición.

En cuanto a la otra parte del estudio, realizada en el trabajo presentado en [36], consiste en cuantificar la conexión existente entre la respuesta emocional de los sujetos y la detectabilidad de los sonidos analizados, midiendo los tiempos de reacción de los sujetos antes los distintos estímulos auditivos, en diferentes ambientes sonoros.



5. FUENTES SONORAS EN VEHÍCULOS

Es de vital importancia comenzar conociendo a fondo las fuentes de sonido que se utilizarán en ambos experimentos, tanto las diferentes partes que conforman la huella sonora de cualquier tipo de vehículo – independientemente de su motor – así como los estímulos sonoros artificiales que se pretenden estudiar como alertas para EVs y HEVs. Se procede a detallarlas:

5.1. FUENTES SONORAS TRADICIONALES

Con el paso de los años, los vehículos han ido evolucionando cada vez más, lo que se traduce en un aumento de prestaciones, lo que a su vez se traduce en una evolución en su huella sonora dependiendo de la fuente. Algunas han aumentado su nivel con el paso de los años, mientras que otras han disminuido. Estas se exponen a continuación:

5.1.1. Ruido generado por el motor de combustión interna (vehículos tradicionales)

Este ruido a su vez se compone de varias fuentes sonoras diferentes, debido a los distintos procesos que se suceden en su interior: admisión, compresión, expansión y escape. No se explicará en profundidad aquí en qué consiste cada etapa, pero basta con saber que el ruido de dichas fuentes sonoras está basado principalmente en aumentos y disminuciones bruscas de presiones, explosiones de la mezcla de combustible y oxígeno, rozamiento provocado por el movimiento de las distintas partes a grandes velocidades (árbol de levas, correa de distribución, válvulas, pistones, cigüeñal, ...) y vibraciones varias provocadas por todas estas razones. El ICE es la mayor fuente de sonido del vehículo tradicional. Aumenta con la velocidad, pero ha disminuido con el paso de los años con el aumento de eficiencia debido a la evolución del diseño, la mejora de los procesos de fabricación y el uso de nuevos materiales.

5.1.2. Ruido generado por la transmisión

Al igual que el ruido producido por el motor, el producido por la transmisión también aumenta con el incremento de velocidad. Y al igual que ocurre con el motor, hay una gran cantidad de partes y subsistemas que aportan su huella sonora al total. Cabe recordar que la transmisión incluye, entre otros elementos, a la caja de cambios (a su vez con multitud de pares de engranajes girando simultáneamente), el embrague, el diferencial, el eje de transmisión y las juntas que unen el diferencial con los semiejes. El sonido total, por tanto, consiste en la suma del ruido provocado por el movimiento relativo entre las piezas y las vibraciones debidas a ello. De nuevo, debido a la mejora constante en diseño, procesos de fabricación y uso de materiales, cada vez la emisión sonora de un sistema de transmisión es menor.

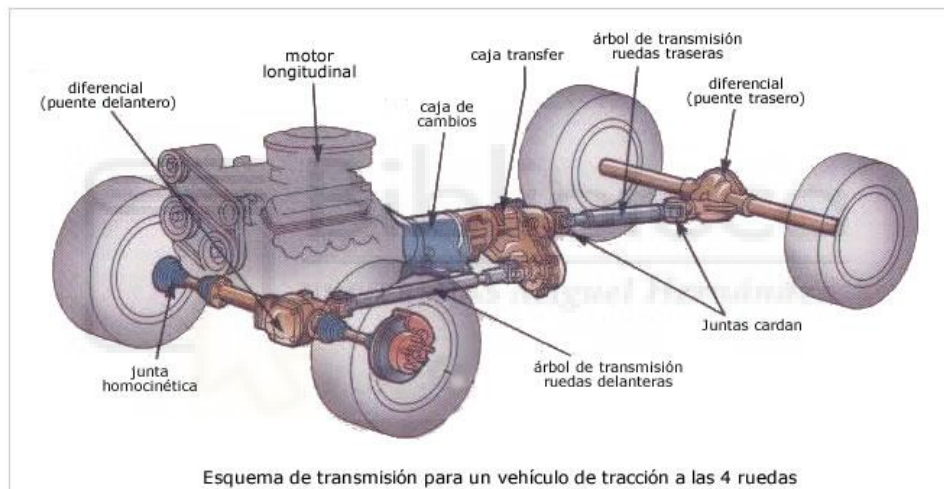


Figura 1.- Sistema de transmisión con sus diferentes partes. Fuente [46].

5.1.3. Ruido generado por los frenos

El ruido generado por el sistema de frenado es uno de los más molestos, tanto para el conductor y los pasajeros del vehículo en cuestión como para observadores externos. Este sonido se origina debido a la extrema fricción entre las pastillas y los discos de freno, que son de diferentes materiales. El sonido se incrementa con el tiempo debido al desgaste de dichos elementos y a lo fuerte que sea la frenada y cuanto tiempo dure.

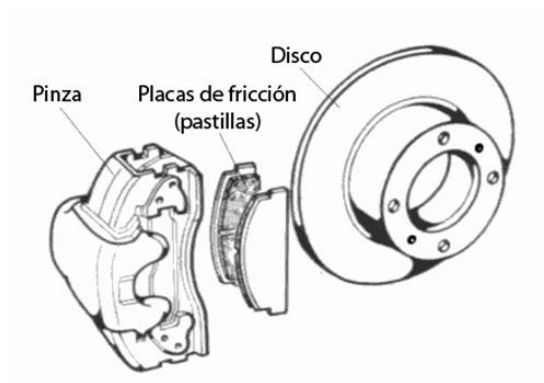


Figura 2.-Sistema de freno de pinza. Fuente [47].

5.1.4. Ruido provocado por la interacción neumático – pavimento

Según lo expuesto en previos apartados de este trabajo, el ruido provocado por el rozamiento neumático – asfalto solo es significativo a velocidades por encima de los 30 - 40 km/h, cuando sobrepasan al motor de combustión como fuente de ruido predominante emitida por el vehículo, lo que es un problema en EVs y HEVs. El nivel de este sonido variará dependiendo de varios factores además de la velocidad, como el diseño del dibujo de la banda de rodadura, la presión y temperatura de la rueda, la agresividad con la que se conduce y el tipo de asfalto sobre el que se rueda. La interacción neumático-pavimento genera una emisión sonora compleja, compuesta a su vez por diferentes mecanismos como son la vibración de la banda de rodadura y de la carcasa, el bombeo de aire alrededor de la huella de contacto o los efectos stick-slip y stick-snap [37].

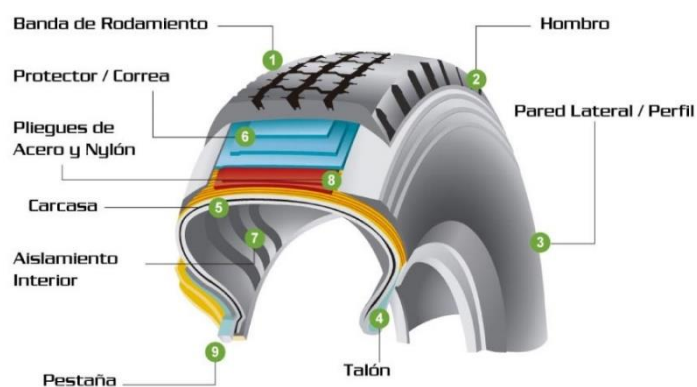


Figura 3.-Componentes de un neumático. Fuente [48].

5.1.5. Ruido del escape (vehículos tradicionales)

El ruido de escape se produce cuando los gases sobrantes del motor de combustión se liberan a través del tubo de escape, pasando antes por el catalizador y el silenciador. En los coches con turbo, estos gases se aprovechan para hacerlo funcionar, lo que constituiría una fuente sonora extra. Aumenta con la velocidad.

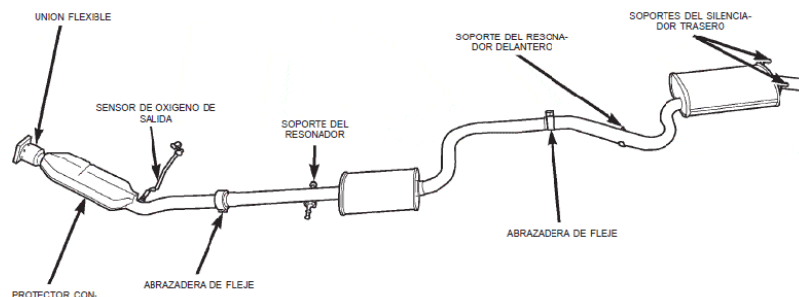


Figura 4.- Esquema de un tubo de escape. Fuente [49].

5.1.6. Ruido aerodinámico

El ruido aerodinámico tiene dos vertientes. La primera es la del flujo de aire que entra a través de los conductos hacia el motor y el interior del vehículo. La segunda es el ruido provocado por el flujo de aire que rodea al vehículo y se adhiere a él, produciendo vórtices en la zona trasera debido a que el flujo de aire laminar se desprende de la carrocería y se transforma en turbulento. Varía dependiendo del perfil de ala y del ángulo de ataque de los diferentes apéndices aerodinámicos del vehículo. Aumentará con la velocidad.

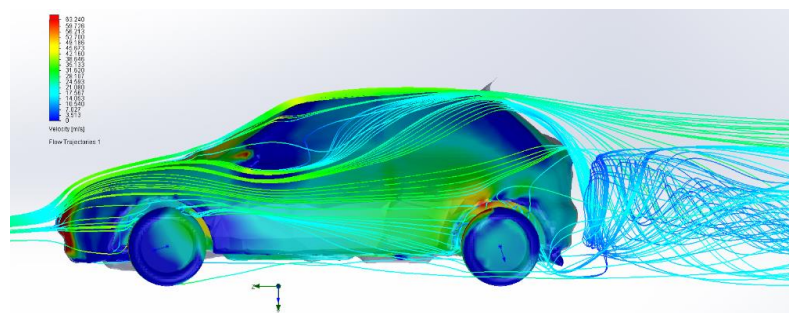


Figura 5.- Flujo aerodinámico a través de un vehículo. Fuente [50].

En EVs y HEVs, se tiene ruido proveniente de todas las fuentes de sonido expuestas a excepción del motor de combustión interna y del escape. A cualquier velocidad, la fuente sonora predominante es el ruido del rozamiento entre el neumático y el pavimento, ya que la huella sonora de los motores eléctricos (emiten fuerzas electromagnéticas que provocan vibraciones estructurales) es considerablemente inferior a la de un motor de combustión interna.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que los pasajeros estarán sujetos a una gran cantidad de sonidos, tanto externos (tráfico, obras, ...) como producidos por ciertos subsistemas del vehículo (sistema HVAC: aire acondicionado, calefacción y refrigeración; batería(s) eléctrica(s)), que no suponen un problema en vehículos tradicionales ya que quedan enmascarados por el motor de combustión interna. De igual manera, se tiene que considerar que el comportamiento en todos los ámbitos de los vehículos tradicionales es mucho más dependiente de la carga que en vehículos híbridos y eléctricos.

Precisamente toda esta problemática se analiza en [38], con el objetivo de diseñar y optimizar EVs y HEVs teniendo en cuenta el ruido, las vibraciones y el confort auditivo (NVH por sus siglas en inglés). En lo relativo a técnicas experimentales avanzadas, no se han desarrollado modelos numéricos para EVs y HEVs, pero sí para vehículos tradicionales, como la separación de fuentes sonoras, el control activo de estas y el diseño vehicular mediante imagen acústica o sonografía (uso de ultrasonidos para producir imágenes en tiempo real de la estructura interna de un objeto opaco a la luz).

A continuación, se observa en detalle la posición de los altavoces para emitir los AVAS, así como las alertas potenciales a implementar que se han estudiado:

5.2. FUENTES SONORAS COMO AVAS

A continuación se exponen las distintas configuraciones con las que puede instalarse un AVAS, previamente a detallar los sonidos de advertencia potenciales para implementar en ellos:



5.2.1. Posición de los altavoces para emisión de alertas acústicas

En un estudio previo analizado [22], los experimentos se realizaban con dos configuraciones distintas de altavoces colocados en el vehículo:

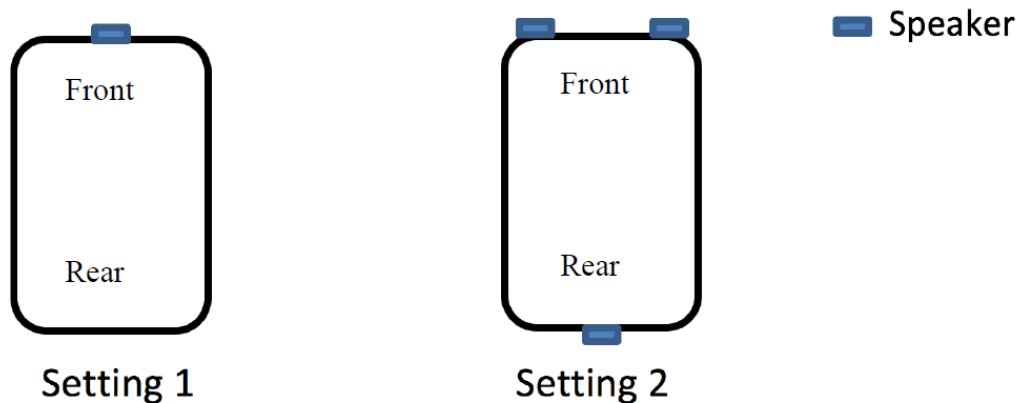


Figura 6.- Configuraciones de posición de altavoces para AVAS. Fuente [20].

La configuración 1 se consideró la de referencia, y por tanto es la utilizada para el presente estudio. Los altavoces delanteros en la configuración 2 (no utilizada en el presente estudio) estaban a una distancia de 0,7 m del eje central del vehículo.

5.3. SONIDOS DE ADVERTENCIA EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

Como ya se ha dicho, el principal objetivo del presente estudio es analizar y estudiar una serie de estos sonidos artificiales – desde el punto de vista de la molestia y la respuesta emocional en los participantes – para descubrir el sonido óptimo y estudiar su posterior potencial implantación en vehículos silenciosos, siguiendo las directrices de la Unión Europea [9]. Específicamente se estudiarán un total de siete sonidos, que se pasa a describir a continuación, basándose en información proporcionada por [22]:

- 1. *InternalCombustion*: Es el sonido que imita a aquel de un motor de combustión interna.
- 2. *MotorGear*: Este sonido de advertencia fue creado por Delta Senselab, habiendo sido previamente considerado un sonido

moderadamente molesto [39]. Su energía de emisión está concentrada en frecuencias bajas, oscilando entre los 100 y los 500 Hz.

- 3. *RP1*: Este sonido fue creado teniendo en cuenta las restricciones de la Unión Europea. Emite en un rango de frecuencias de entre 200 y 2000 Hz.
- 4. *RP2*: Igual que el *RP1* pero emite el sonido por debajo de los 200 Hz.
- 5. *Stimulus7 (también conocido como EV1)*: Este sonido fue propuesto por el consorcio eVADER del que ya se ha hablado anteriormente [17]. Es un sonido con una modulación de frecuencia con forma de dientes de sierra. Tiene 3 armónicos y una amplitud de modulación aleatoria.
- 6. *Stimulus3 (también conocido como EV2)*: Al igual que el sonido anterior, fue también creado por el consorcio eVADER, pero a diferencia del *Stimulus7*, este no tiene modulación de frecuencia. Tiene nueve armónicos y mantiene la amplitud de modulación aleatoria.
- 7. *C1 Warning Sound (WS)*: Este sonido se corresponde al del AVAS del Renault Zoe.

A partir de aquí serán referidos como Sonidos 1 – 7, en el orden en que han sido presentados. Sus gráficas de nivel de presión sonora en función de la frecuencia (excepto la del sonido 7) están presentadas en la siguiente figura:

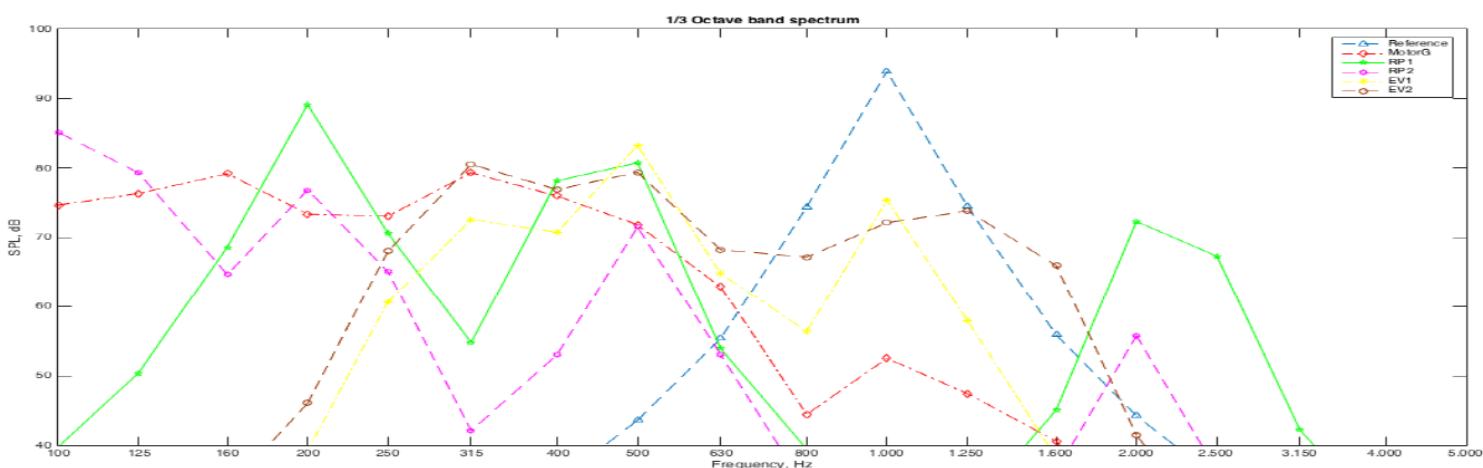


Figura 7.- Nivel de presión sonora de los sonidos a estudio excepto el C1 WS. Fuente [20]



6. METODOLOGÍA

A continuación se describe en detalle la muestra de participantes, las variables emocionales, el procedimiento en sí mismo y la instrumentación utilizada.

6.1. MUESTRA Y PARTICIPANTES

El estudio se ha realizado con una muestra de 63 sujetos, de los cuales 29 son personas asociadas a la Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE) con diferentes índices de agudeza visual. Los restantes 34 fueron voluntarios de entre el alumnado y el profesorado de la Universidad Miguel Hernández, asegurándose de que el rango de edades fuese lo más amplio posible.

De entre los 63 sujetos, la media de edades es 43,87 años (la Desviación Típica – utilizada para cuantificar la variación o dispersión de un conjunto de datos numéricos – es 14,46). El participante más joven tenía 22 años, mientras que el más mayor tenía 82. El 66,67% son hombres (n=42) y el 33,33% son mujeres (n=21). Como ya se ha indicado, el 46,03% sufrían de algún nivel de ceguera parcial o completa (n=29), mientras que el 53,97% tenían visión completa (n=34). Por último, en cuando a problemas de audición, el 22,22% dijeron tener algún tipo de problema (n=14), mientras que el restante 77,78% afirmaron poseer una audición completa (n=49).

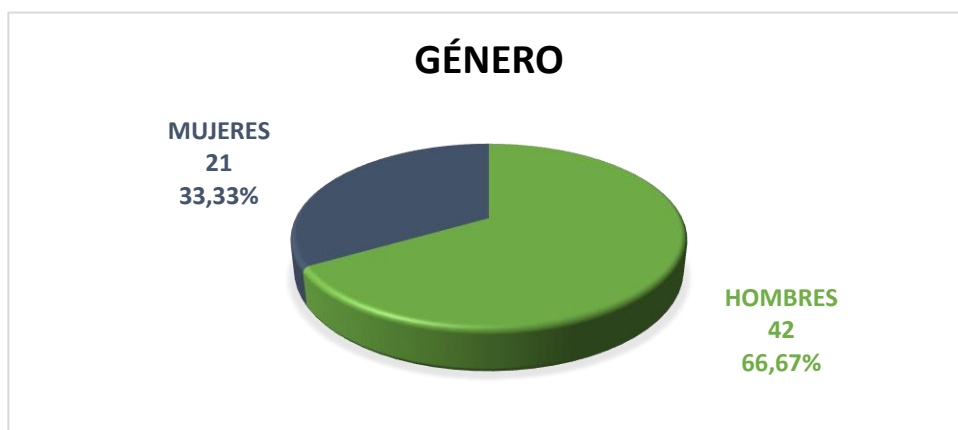


Figura 8.- Gráfico género de la muestra

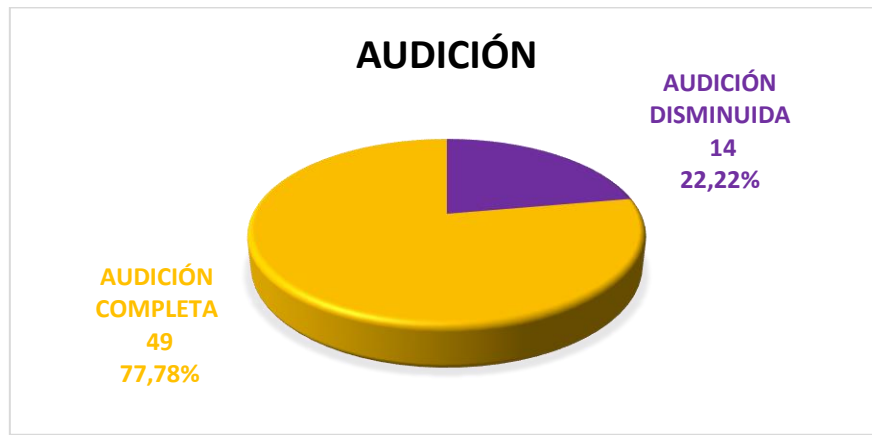


Figura 9.- Gráfico audición de la muestra

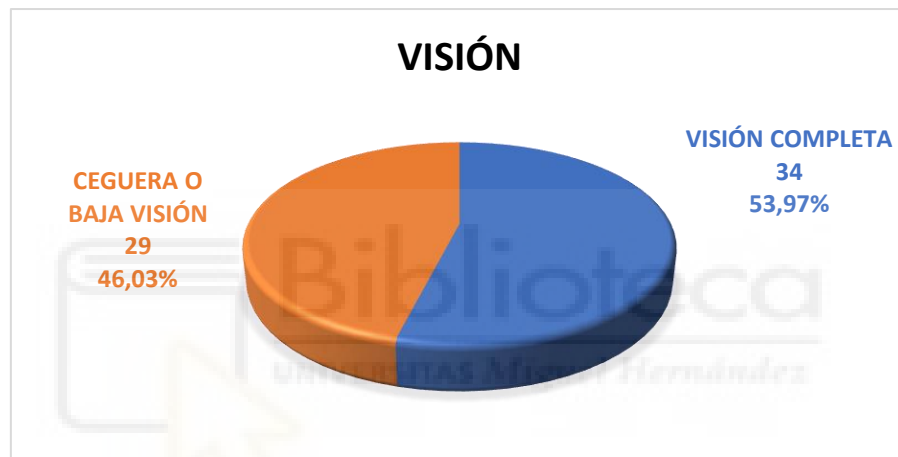


Figura 10.- Gráfico visión de la muestra

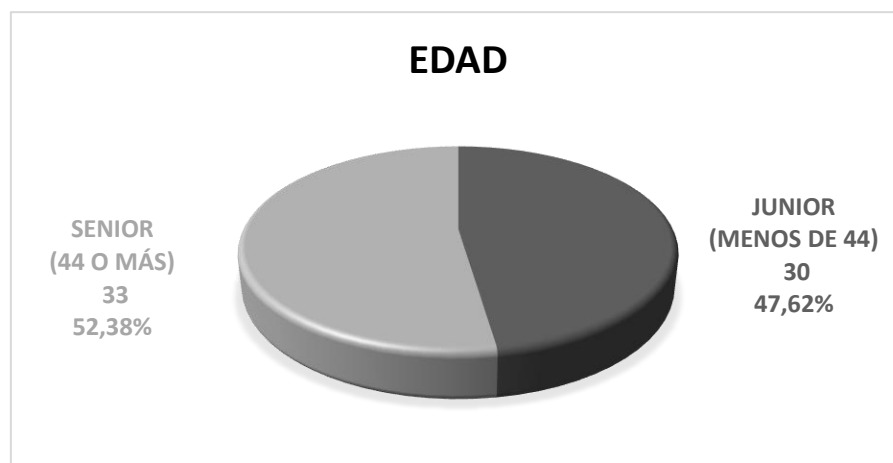


Figura 11.- Gráfico edad de la muestra

En las Figuras 8 – 11 se muestran las gráficas que representan el tamaño de los diferentes colectivos que conforman la muestra.

También vale la pena destacar el rango de visibilidad de los 34 participantes con ceguera, tanto para el ojo derecho como para el izquierdo, donde el 0 equivale a ceguera total y el 1 a visión completa. Los resultados se representan a continuación:

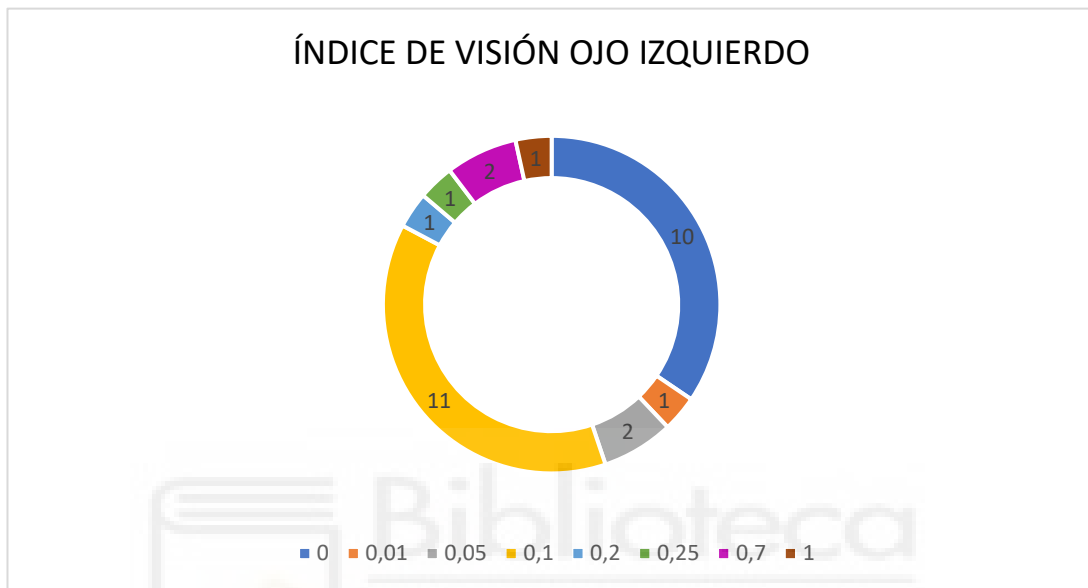


Figura 12.- Gráfico índice visión del ojo izquierdo

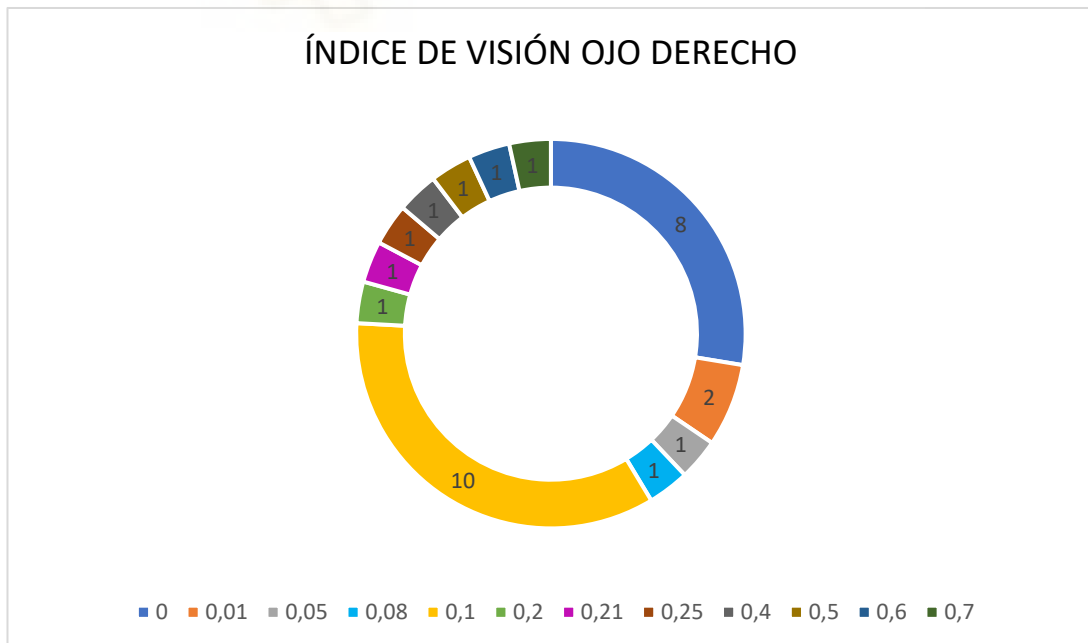


Figura 13.- Gráfico índice visión del ojo derecho

6.2. VARIABLES EMOCIONALES A ESTUDIO

Caracterizar el espectro emocional es una tarea nada sencilla, ya que es extremadamente complejo, vasto y subjetivo. Para llegar a comprenderlo plenamente se necesitarían amplios conocimientos de psicología. Para simplificar, las emociones son respuestas o reacciones psicofisiológicas adaptativas, automáticas y universales ante ciertos estímulos, que afectan a la manera en la que las personas perciben las cosas. Estos estímulos, y por tanto las reacciones que provocarán en la gente, pueden caracterizarse en su forma más básica como positivos o negativos [40].

Los estímulos negativos serán percibidos como una amenaza, y activarán respuestas emocionales asociadas a la autopreservación, tanto física como emocional. Estas son las sensaciones que se busca analizar en el presente estudio (molestia, desagrado, miedo, estrés...) y su relación con lo que las personas piensan acerca de las alertas acústicas artificiales en EVs y HEVs y, por tanto, acerca de los vehículos en sí mismos.

En cuanto a las respuestas físicas, estas sensaciones pueden provocar efectos secundarios tales como la sudoración o el incremento de la frecuencia cardíaca [41].

Por tanto, a la hora de enfocar el experimento y de definir las variables emocionales a utilizar, se diseñó con la colaboración del Departamento de Psicología de la salud de la UMH un test con un total de 12 preguntas relacionadas con las sensaciones provocadas por cada uno de los siete sonidos, que son las aquí expuestas:

- . En una escala del 1 al 7 siendo 1 NADA DESAGRADABLE y 7 MUY DESAGRADABLE ¿cómo puntúas este sonido?
- . En una escala del 1 al 7 siendo 1 NADA MOLESTO y 7 MUY MOLESTO ¿cómo puntúas este sonido?
- . En una escala del 1 al 7 siendo 1 NADA ESTRESANTE y 7 MUY ESTRESANTE ¿cómo puntúas este sonido?
- . En una escala del 1 al 7 siendo 1 NADA NERVIOSO y 7 MUY NERVIOSO ¿cómo te hace sentir este sonido?



- . En una escala del 1 al 7 siendo 1 NADA y 7 TOTALMENTE ¿cómo de peligroso percibes este sonido?
- . En una escala del 1 al 7 siendo 1 NADA y 7 TOTALMENTE ¿reconocerías este sonido como el de un vehículo/coche si vas andando por la calle?

De las siguientes emociones y sensaciones, puntúa del 1 al 7 las que hayas sentido al escuchar el sonido, siendo 1 NADA y 7 TOTALMENTE:

- . Miedo
- . Sorpresa
- . Activación
- . Enfado
- . Asco
- . Ansiedad

6.3. PROCEDIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN

El estudio con los voluntarios de la ONCE con ceguera se realizó en junio y septiembre de 2019 en las sedes de esta organización en Elche y Alicante. El estudio con voluntarios con visión completa se realizó en diciembre de 2019 en una sala insonorizada dentro del edificio Altet, en el campus de la Universidad Miguel Hernández en Elche. En todos los casos se apuntó la hora de inicio del estudio y se registraron valores de humedad, temperatura y ruido de fondo en dB(A), para que existiera homogeneidad de condiciones.

Antes de empezar, todos los sujetos sometidos a prueba contestaron preguntas sociodemográficas sin tomar información personal que pudiera identificar a cada uno de ellos (se utilizaron las cuatro últimas cifras de sus DNIs y la letra para diferenciarlos). Además de ese dato, al que se llamará Código, se apuntó su género y se les preguntó por su edad, nacionalidad, ciudad de residencia, índice de agudeza visual en el ojo izquierdo y derecho del 0 (ceguera absoluta) al 1 (visión completa) e índice de pérdida de audición por rangos, siendo estos: Normal (< 25 dB); Pérdida de audición leve (25 – 40 dB); Pérdida de audición moderada (40 – 70 dB); Pérdida de audición grave (70 – 90 dB) y

pérdida de audición profunda (> 90 dB). Durante ese periodo se comprobó que todos los dispositivos funcionasen de manera correcta para la toma de datos. El 22,22% que dijo tener problemas auditivos ($n=14$) afirmaron que estos eran leves. Ninguno de los participantes presentó un problema de audición mayor.

Para la obtención de datos fisiológicos de cada uno de los individuos a estudio, se utilizó un pulsioxímetro (Figura 14) para el registro de la frecuencia cardíaca (pulsaciones) en el dedo índice de la mano derecha, y dos electrodos (Figura 15) conectados a los dedos índice y corazón de la mano izquierda para obtener la sudoración o respuesta galvánica de la piel (Galvanic Skin Response, GSR, conductancia). Los tres terminales iban conectados a una placa Arduino (Figura 17), que a su vez estaba conectada al ordenador mediante USB.

Todos los sujetos estuvieron sometidos a las mismas condiciones. Para simular ceguera de los 34 participantes con visión completa, y poder hacer una comparación de datos fiable, se les colocaron unas gafas de natación con los cristales tapados (Figura 16). También para evitar cualquier distracción con el entorno y potenciar la audición. A los participantes (que dieron su consentimiento para la realización y reproducción en el presente trabajo de su foto) se les sentó en una cómoda silla de playa acolchada y se les colocaron unos auriculares de diadema de gran calidad también acolchados (Figura 18).

Los datos se registraron en formato .txt en tres columnas numéricas (frecuencia cardíaca y sudoración en ambos dedos) para su posterior análisis y procesamiento con el programa MATLAB (Figura 19). Con este se obtenían dos gráficas: la frecuencia cardíaca y la respuesta galvánica de la piel. Para ello, se ha utilizado un software diseñado y programado por el profesorado de la Universidad y los supervisores del proyecto denominado DetectabilityTest v3 (Figura 20), donde también se registró la información sociodemográfica de los participantes.

La metodología de la prueba consistía, primero, en cinco minutos de relajación y aislamiento mental después de las preguntas sociodemográficas. Posteriormente y sin previo aviso, se reproducía una grabación de los siete sonidos, reproducidos de forma aleatoria para evitar sesgos por cansancio u



Figura 14.- Pulsioxímetro

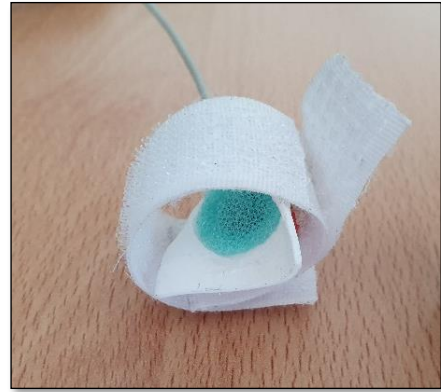


Figura 15.- Electrodo para registro de GDR



Figura 16.- Gafas con cristales tapados



Figura 17.- Módulo Arduino



Figura 18.- Participante realizando el ensayo

otras razones, seguidos de las 12 preguntas detalladas anteriormente.

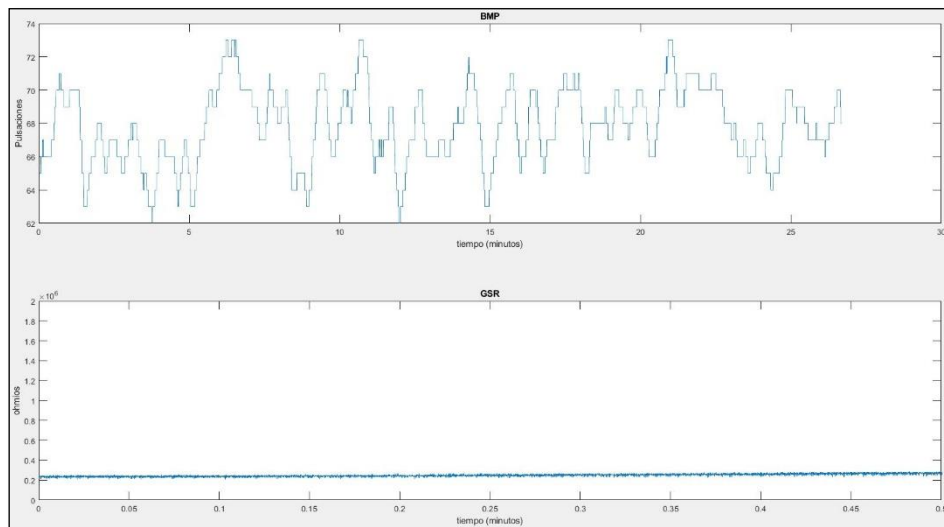


Figura 19.- Detalle de dos gráficas, extraídas de MATLAB. La primera de ellas, BMP, es la frecuencia cardíaca del individuo registrada durante la prueba, y la segunda gráfica es la respuesta galvánica GSR que indica la conductancia de la piel.

Figura 20.-Sección de la interfaz del software donde se introducen los datos sociodemográficos del participante

Para cada sonido, el individuo debía de contestar a las preguntas sobre las sensaciones que les provocaba, en una escala del 1 al 7, siendo 1 el mínimo y 7 el máximo, como ya se ha detallado. La longitud de la grabación era de unos 28 minutos, pero todo el proceso duraba unos 40 en total.

Las respuestas se registraron por Daniel Querada Gomis – que

posteriormente se encargó de redactar el estudio de detectabilidad, [36] – y por el que firma, en una tabla de cálculo de Excel para su posterior estudio en el programa estadístico IBM SPSS Statistics 25. Antes de iniciar el análisis, se tuvieron que ordenar los datos de cada participante para establecer un sistema en el que cada uno de los siete sonidos fuese el mismo para todos los sujetos.

La investigación constó de dos estudios, como ya se ha explicado, y para el de detectabilidad (complementario a este trabajo), los participantes escucharon los sonidos artificiales propuestos, pero su intensidad iba en aumento, ya que se simulaba el efecto de encontrarse con un EV o HEV acercándose – tanto desde la izquierda como desde la derecha, desde una distancia de 30 m – en el momento de cruzar la calle. Además, las grabaciones contaban con tres diferentes sonidos ambientes de fondo: un cruce de una calle con una gran densidad de tráfico, una zona peatonal con una intensidad de sonido ambiental media y un parque con una huella sonora menor, lo que implica un ambiente más silencioso que en los casos anteriores. Tanto el sonido del AVAS como el del ambiente de fondo se elegían de manera aleatoria por el programa, por las mismas razones que en el test de molestia.

También al igual que en el ensayo de molestia, se les taparon los ojos a los sujetos con las mismas gafas. El objetivo del test era que los participantes pulsaran la barra espaciadora en un teclado preparado para la ocasión cuando empezasen a escuchar cada alerta, con la finalidad de calcular el tiempo y la distancia de reacción.

Por último, volviendo al actual ensayo, se pasa a detallar como fue la organización preliminar de los datos en Excel y MATLAB, específicamente en lo relativo a la medición y anotación de los datos significativos de frecuencia cardíaca:

Se creó una hoja de cálculo, y en ella se cuenta con la variable “CÓDIGO”, para identificar cada muestra (cuatro cifras y la letra del DNI de los participantes) junto con su edad. Se añadieron variables adicionales para cada uno de los siete sonidos con los que cuenta la prueba. Para cada sonido se tomaron dos valores de interés: el primero, al que se ha llamado “Valle”, representa el nivel mínimo

de pulsaciones inmediatamente previo al inicio de la audición del sonido. El segundo, llamado “Pico”, es el valor máximo de pulsaciones que se consigue en el intervalo de tiempo en el que el sujeto está escuchando el sonido (Figura 22).

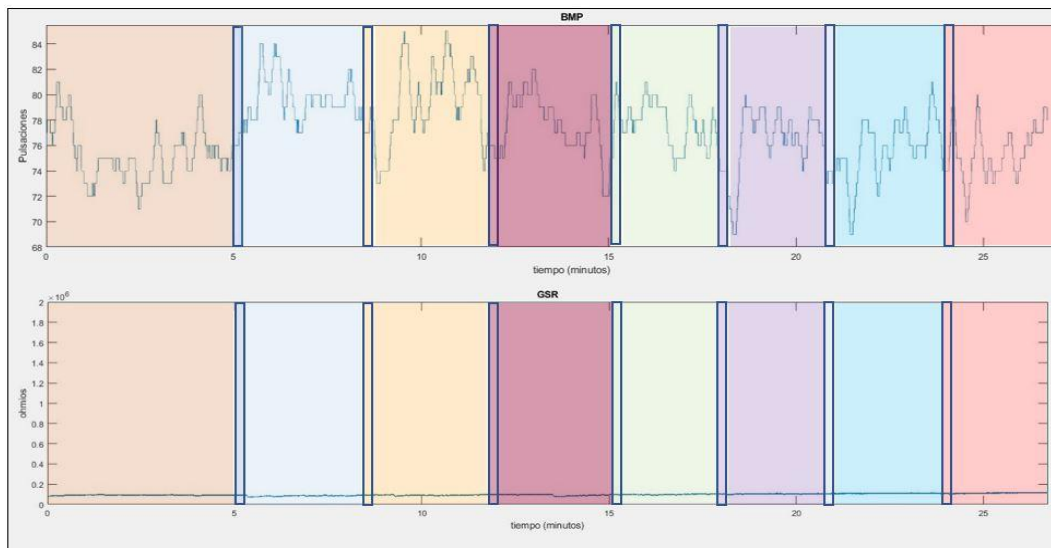
Además, junto a las de identificación, se añadió otra variable llamada “Inicial” que representa el mínimo de las pulsaciones del sujeto durante los 5 minutos de relajación o reposo, justo antes de que se escuche el primer sonido.

Para terminar, se añadieron dos variables finales para cada sonido. La primera, con el valor de la diferencia entre el pico y el valle de un mismo sonido, llamada “Subida”. La segunda con el valor de la diferencia entre el pico de un sonido y el valle del siguiente, llamada “Reducción”. Esta variable no se puede aplicar al séptimo sonido, ya que es el último.

Para todas las variables resultantes, se ha realizado el sumatorio de valores, y se ha dividido entre el número de participantes para sacar el valor medio de los valores Pico, Valle, Subida y Reducción, y tratar de averiguar si los sonidos provocan la misma reacción en los participantes (aumento súbito de frecuencia) independientemente de la edad del sujeto o de otros factores externos.

Para un sujeto al azar, el primero de los puntos de la figura 22 es el valor “Inicial”, seguido por el valor “Valle” y el valor “Pico” del sonido en cuestión.

En cuanto a la respuesta galvánica, esta depende de la situación particular del individuo. Así por ejemplo, en la figura 19 tenemos a un sujeto cuya conductancia oscila entre 0,215 y 0,225, mientras que en la figura 21 tenemos a un participante cuya conductancia oscila entre 0,09 y 0,15. Estas oscilaciones son tan insignificantes (a la par que constantes e invariables) que a efectos prácticos se podría considerar que las gráficas son planas, según Gallegos y Torrija [42]. El problema radica en que no se aprecia ningún cambio significativo en los momentos en los que la persona está escuchando los sonidos o las preguntas.



- Intervalo de 5 min relajación
- Sonido 1
- Sonido 2
- Sonido 3
- Sonido 4
- Sonido 5
- Sonido 6
- Sonido 7

Figura 21.-Gráfico de pulsaciones y de conductancia en MATLAB de un test completo de un sujeto aleatorio, claramente separado en ocho secciones, y señalizando el momento exacto de audición de los siete sonidos mediante pequeños rectángulos de borde azul, previamente a la formulación de las preguntas

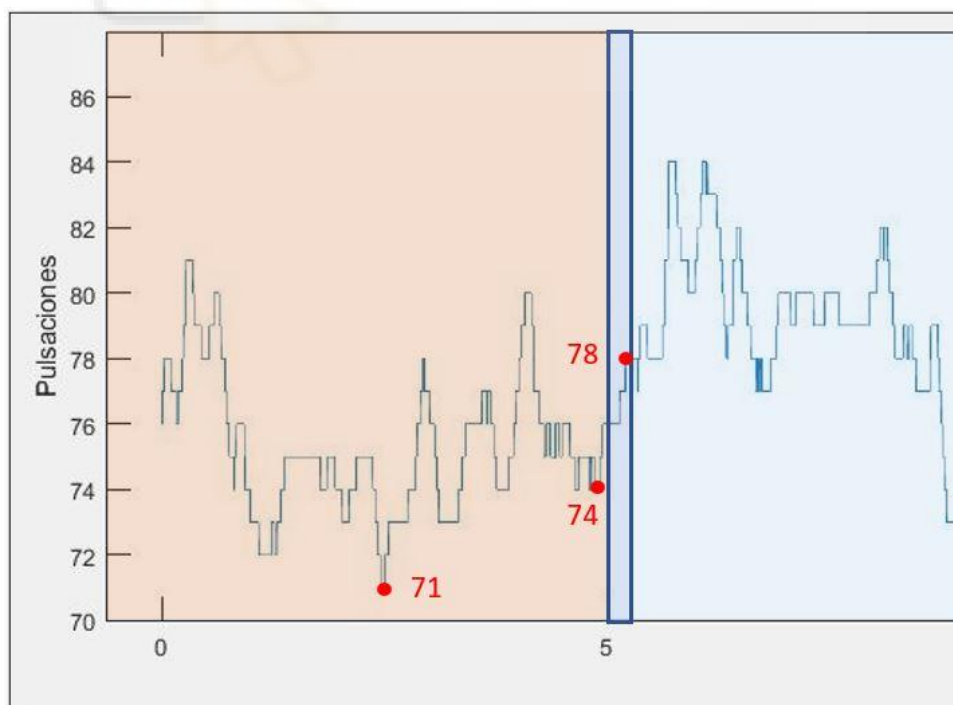


Figura 22.-Detalle de la figura 21 del tiempo de relajación previo y del Sonido 1 (audición y preguntas)



7. RESULTADOS

Primero, se exponen los resultados obtenidos en el test de molestia mediante gráficas, de acuerdo con las respuestas de los participantes. Después se verán los datos obtenidos y calculados referentes a los cambios en la frecuencia cardíaca de los participantes:

7.1. RESULTADOS DE LOS TEST DE RESPUESTA EMOCIONAL

Primero se muestran las gráficas para cada sonido de los participantes con ceguera o baja visión, y después de aquellos con visión completa:

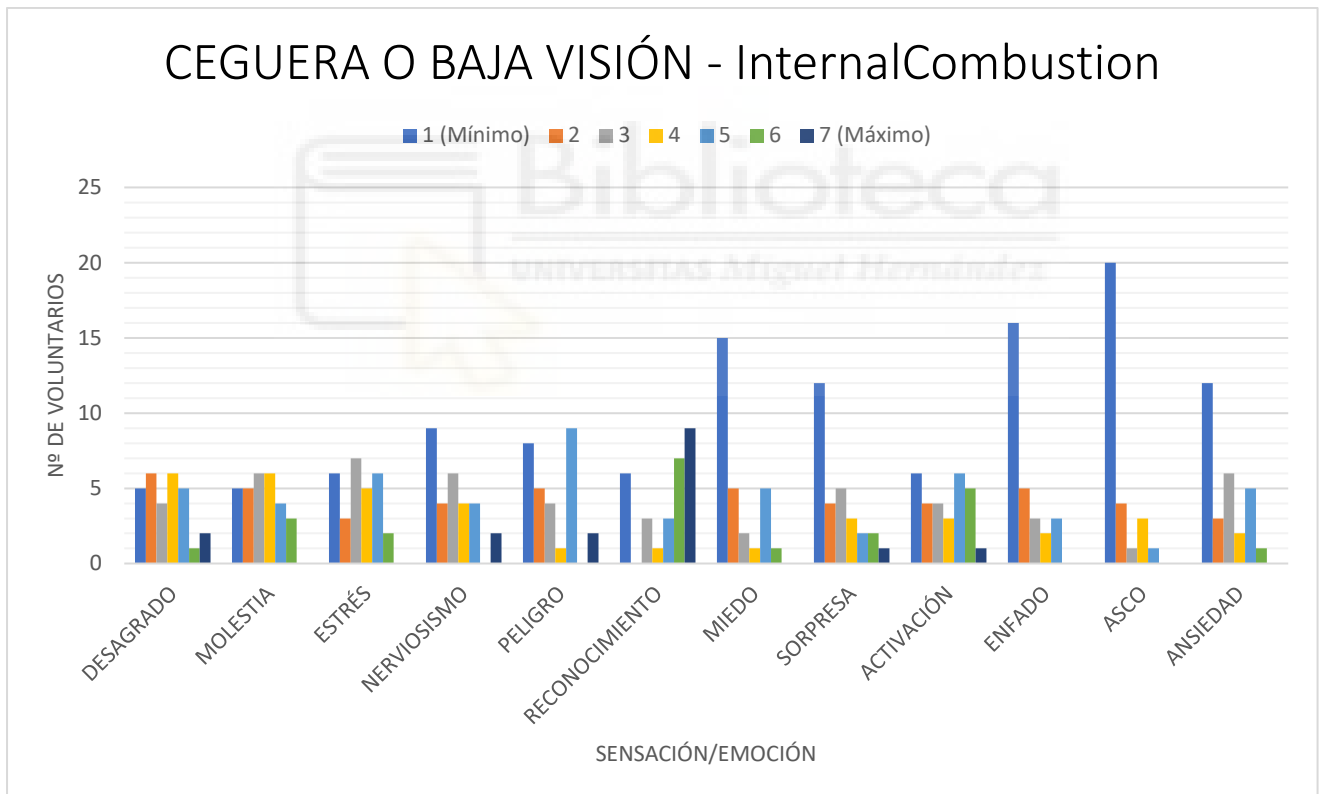


Figura 23.- Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 1

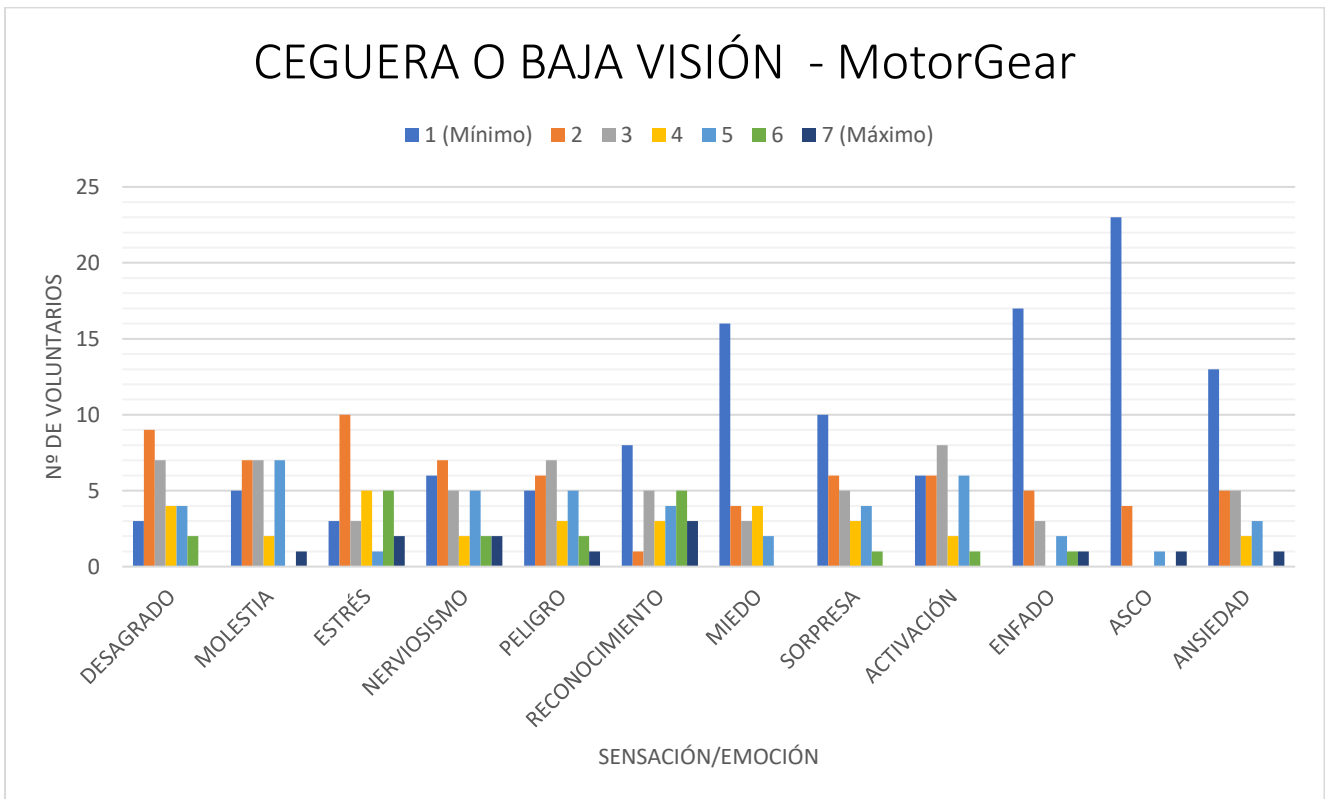


Figura 24.- Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 2

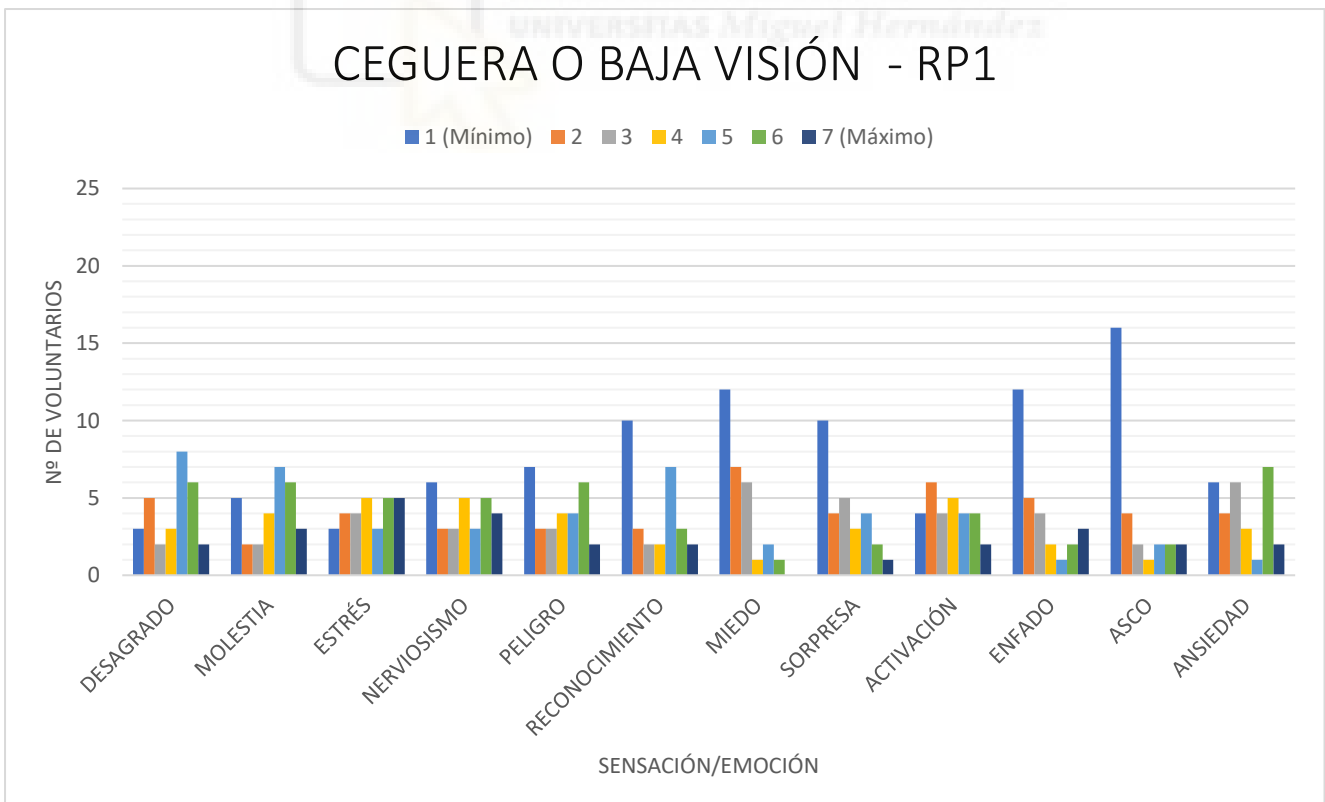


Figura 25.- Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 3

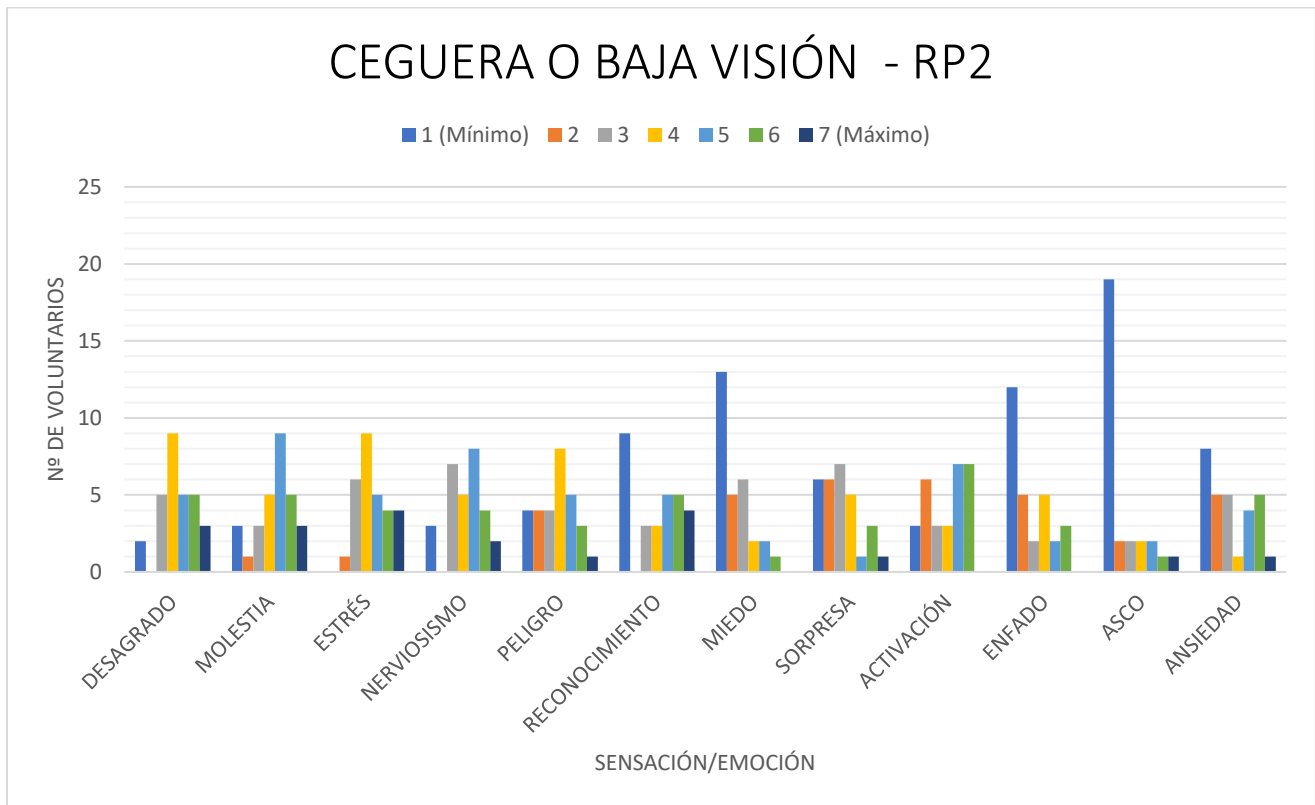


Figura 26.- Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 4

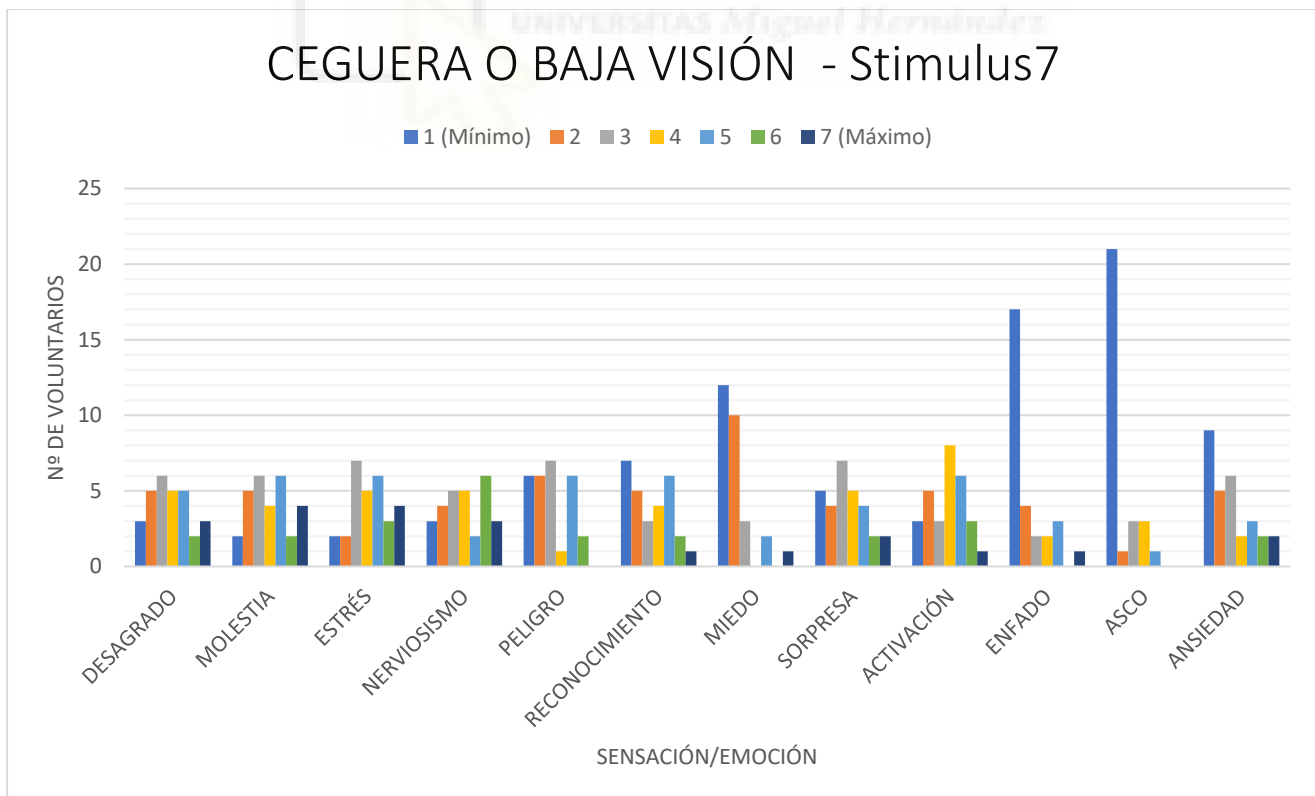


Figura 27.- Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 5

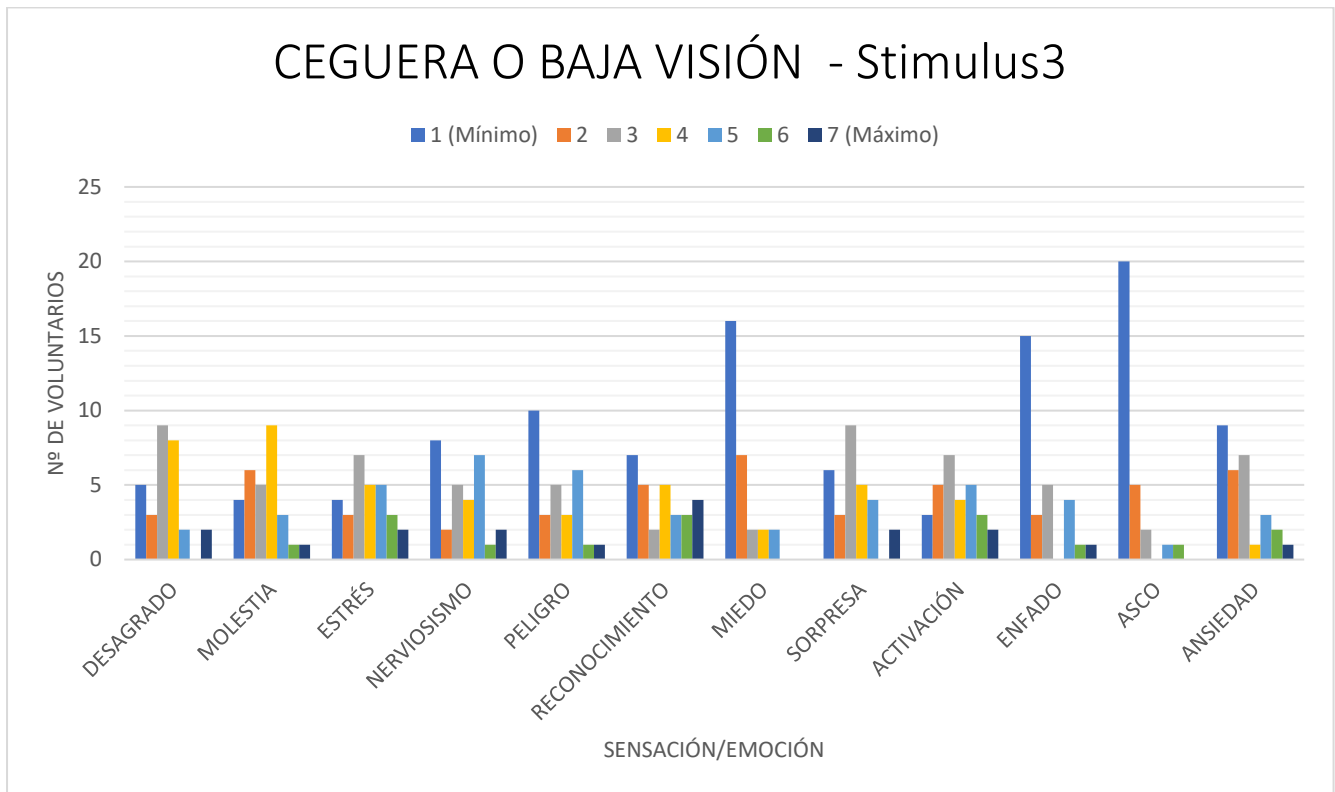


Figura 28.- Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 6

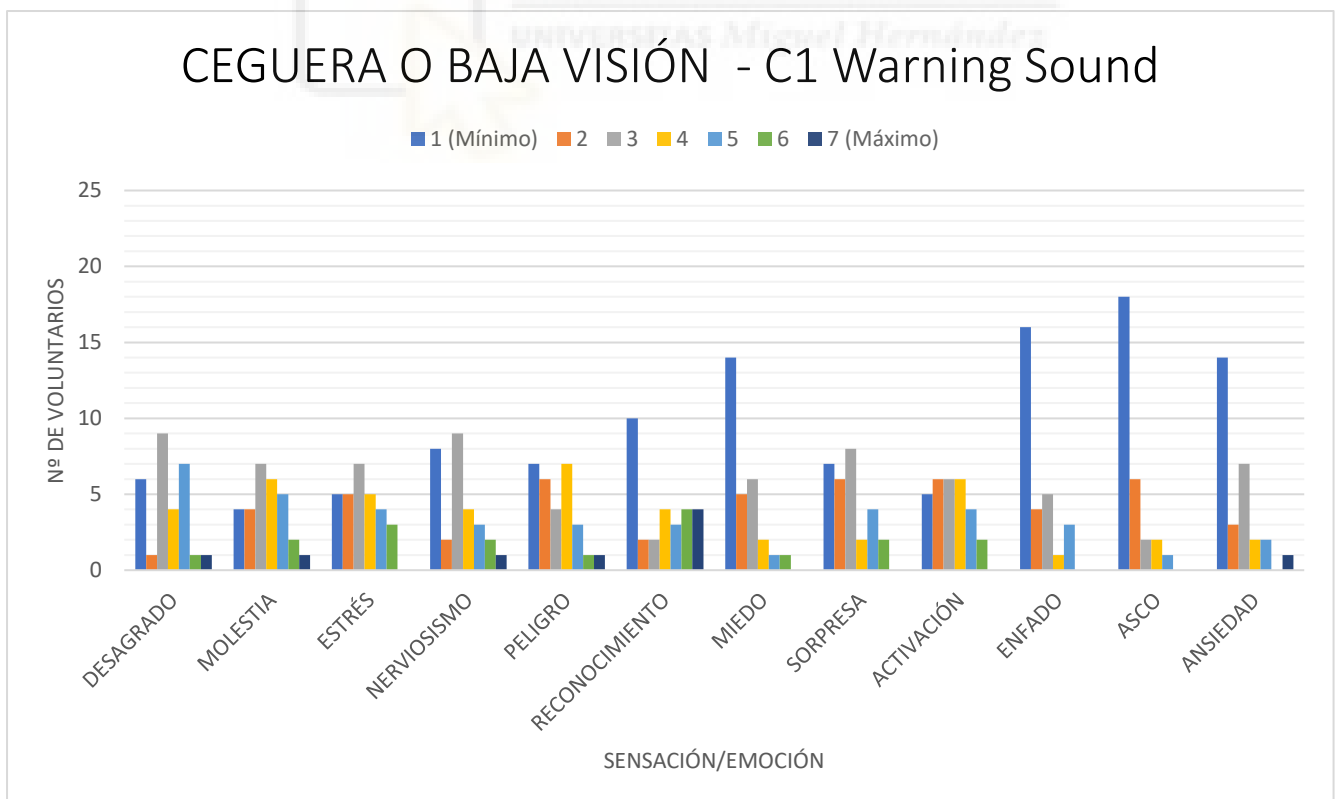


Figura 29.- Gráfica de respuestas de sujetos con ceguera o baja visión para el Sonido 7

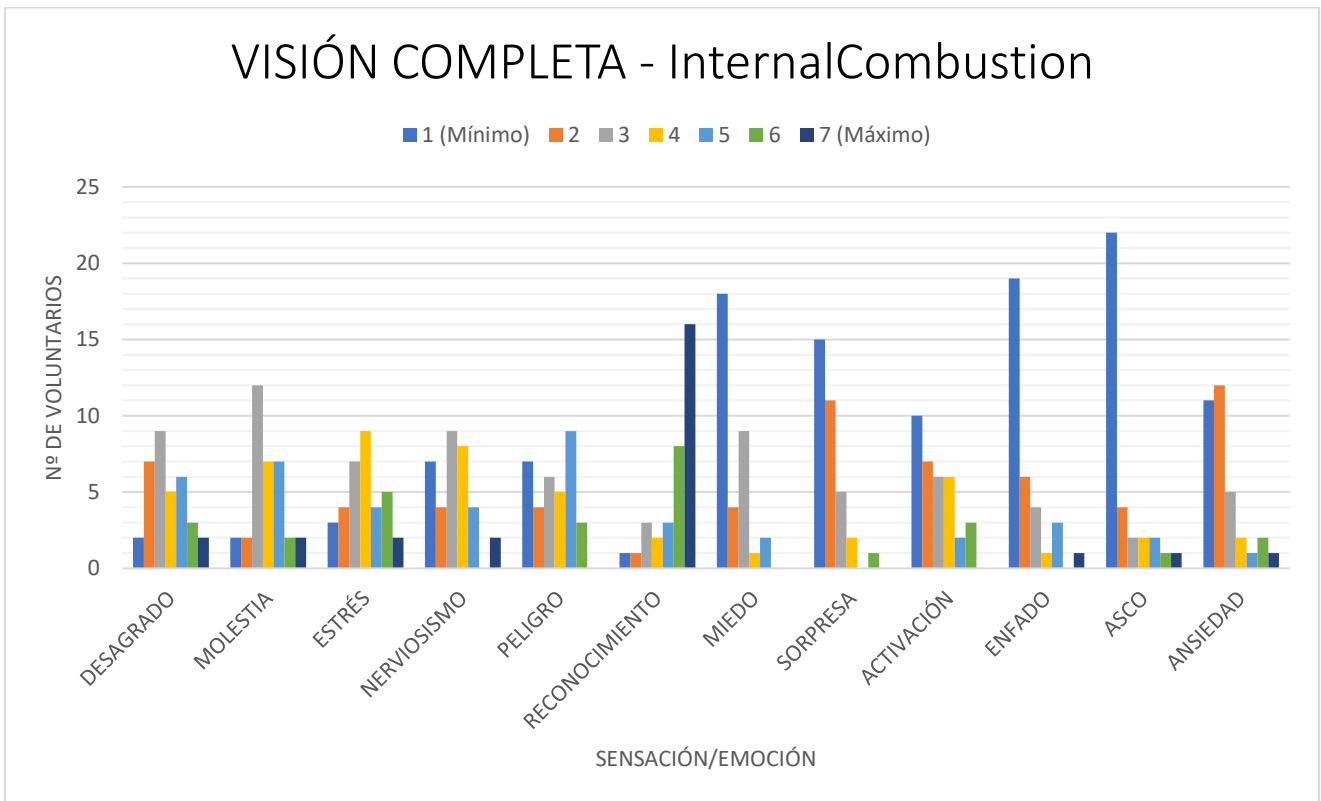


Figura 30.- Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 1

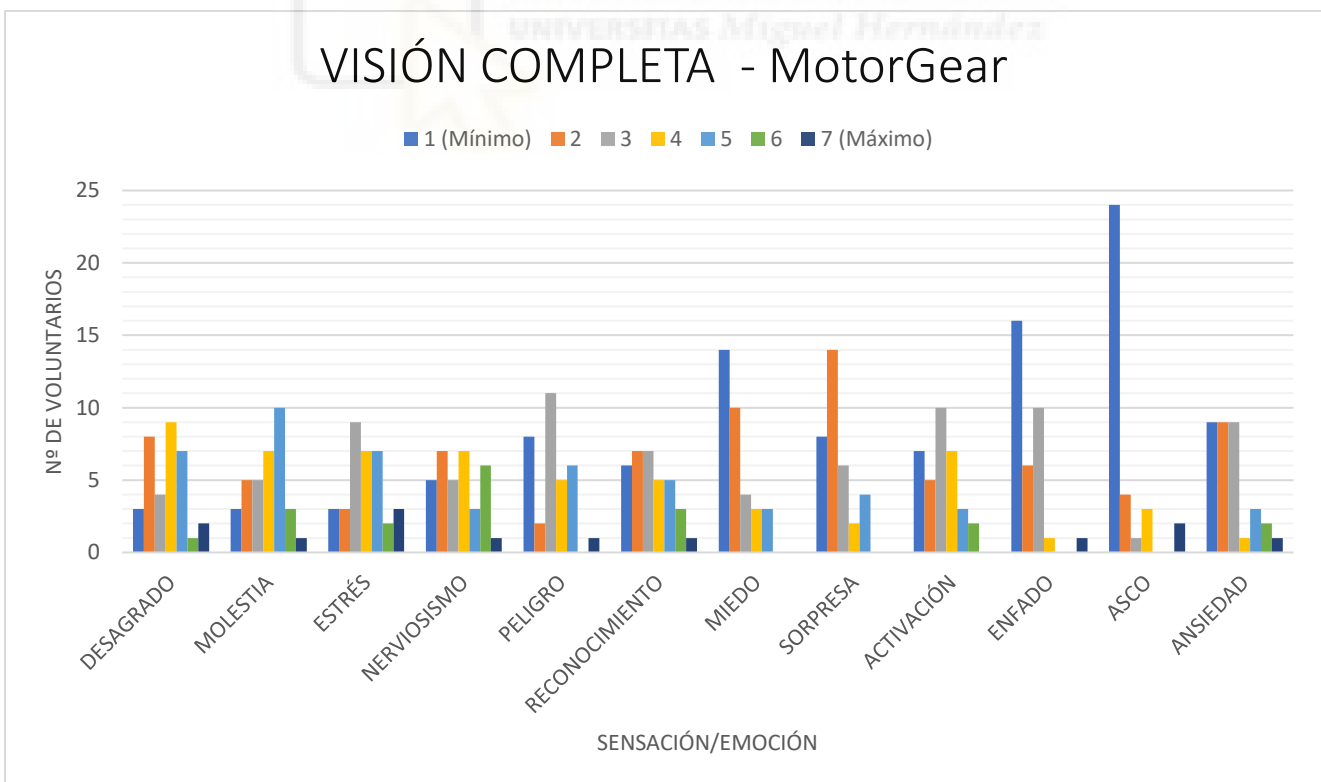


Figura 31.- Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 2

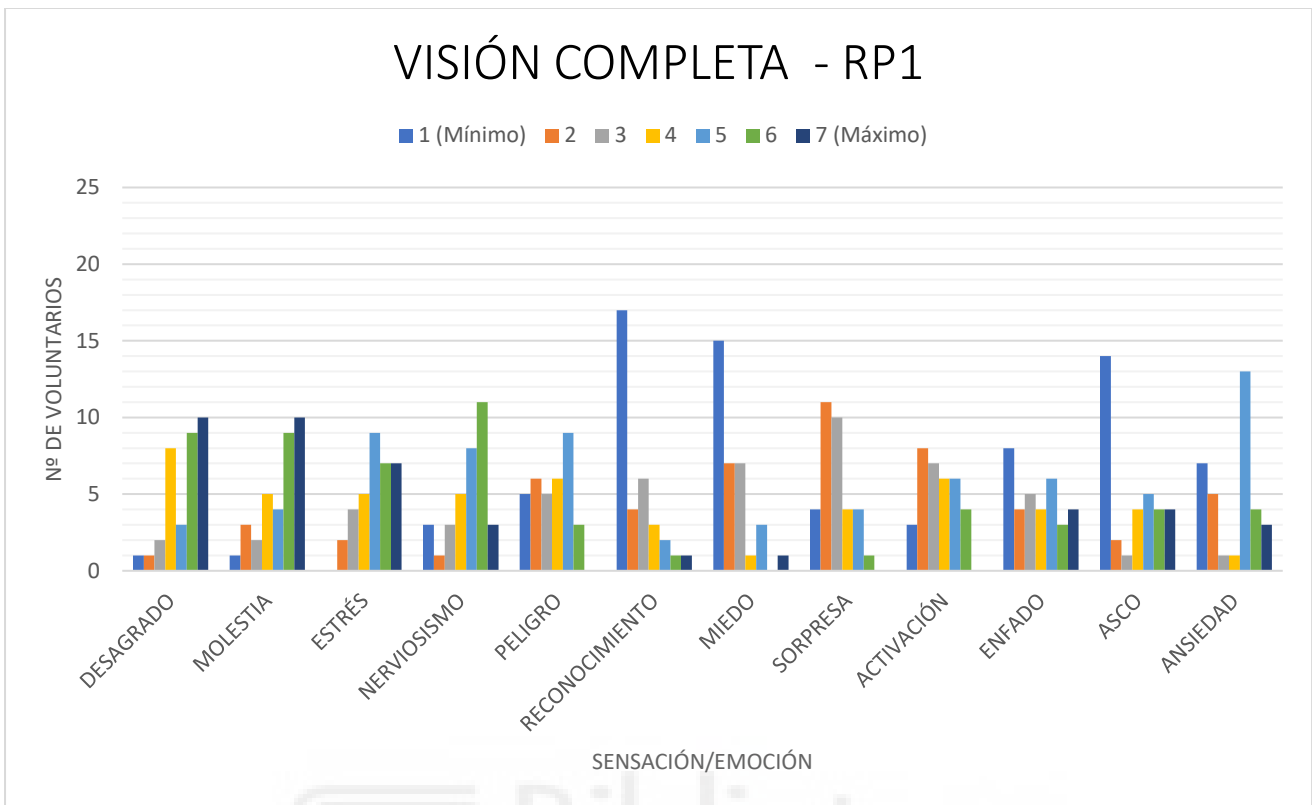


Figura 32.- Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 3

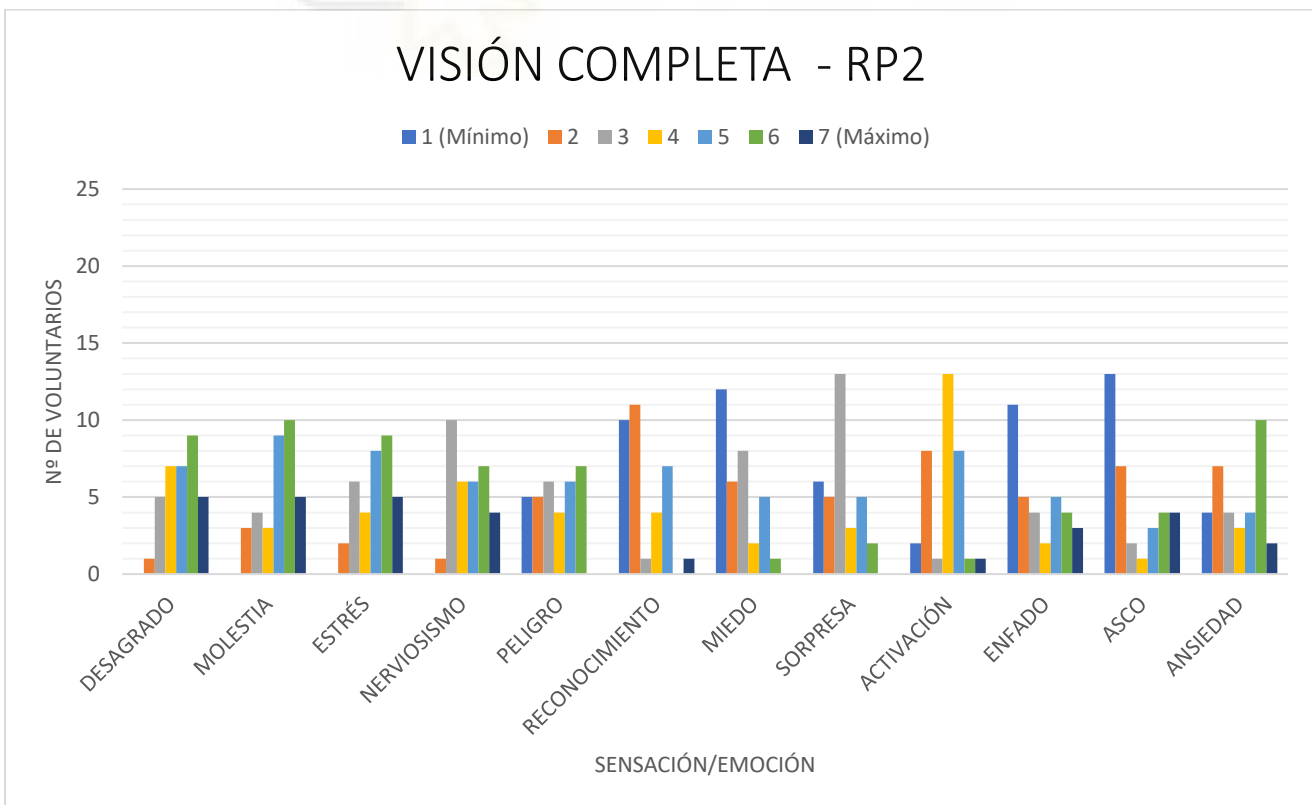


Figura 33.- Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 4

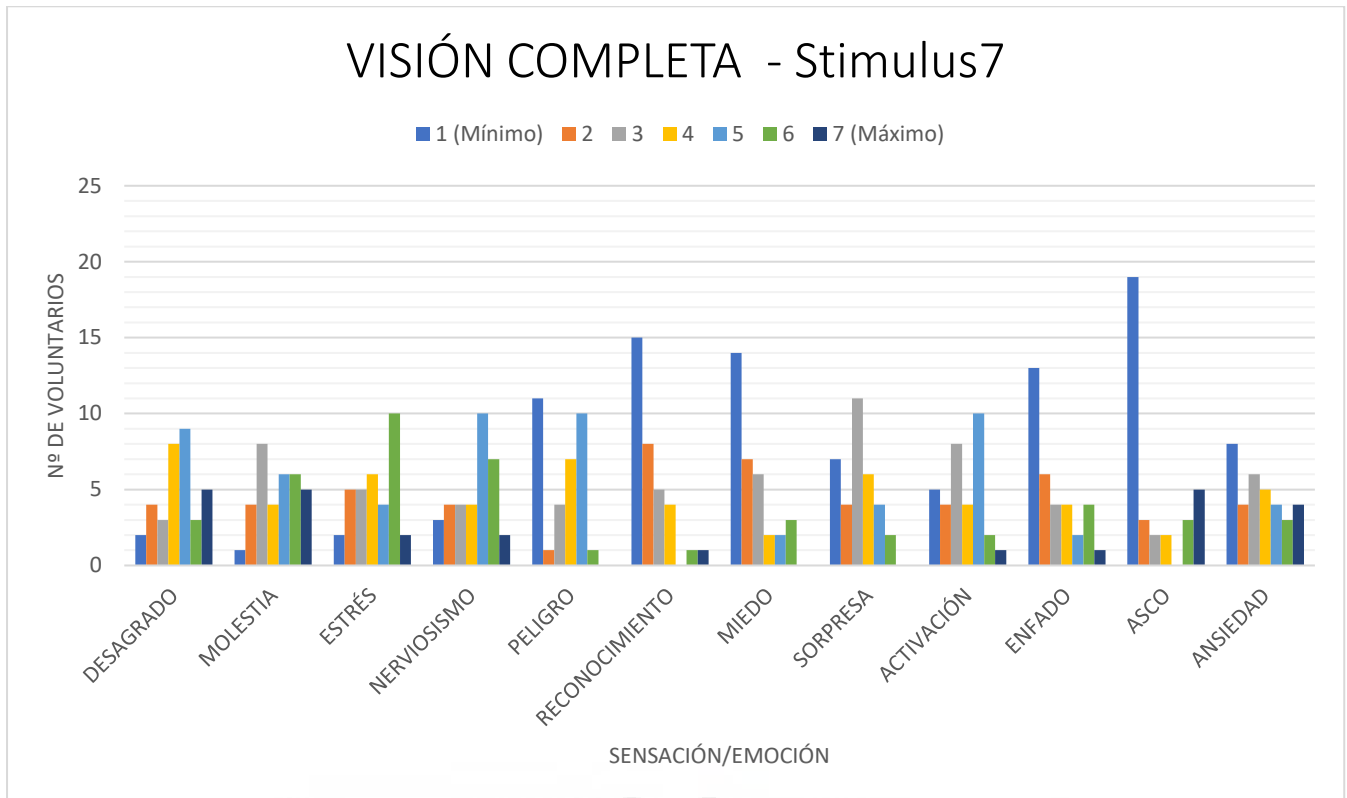


Figura 34.- Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 5

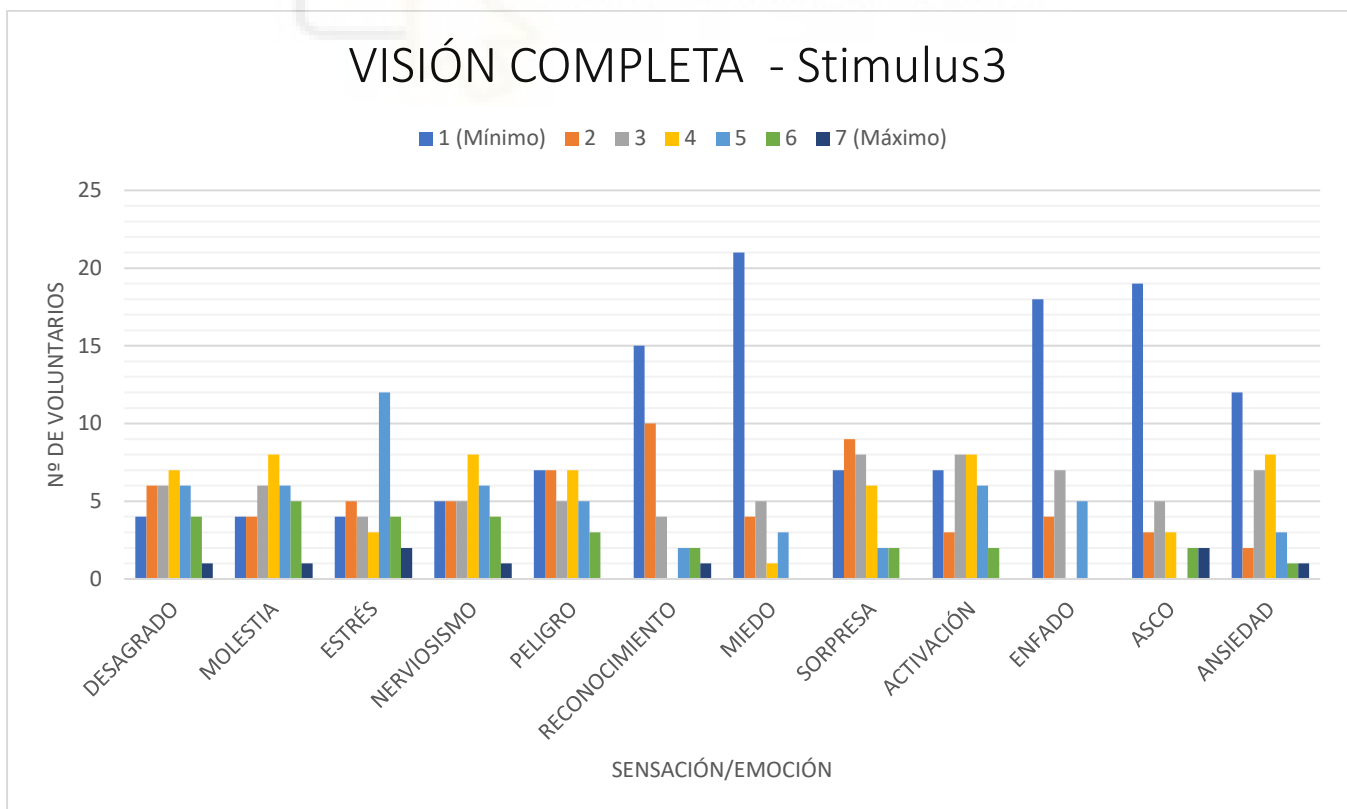


Figura 35.- Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 6

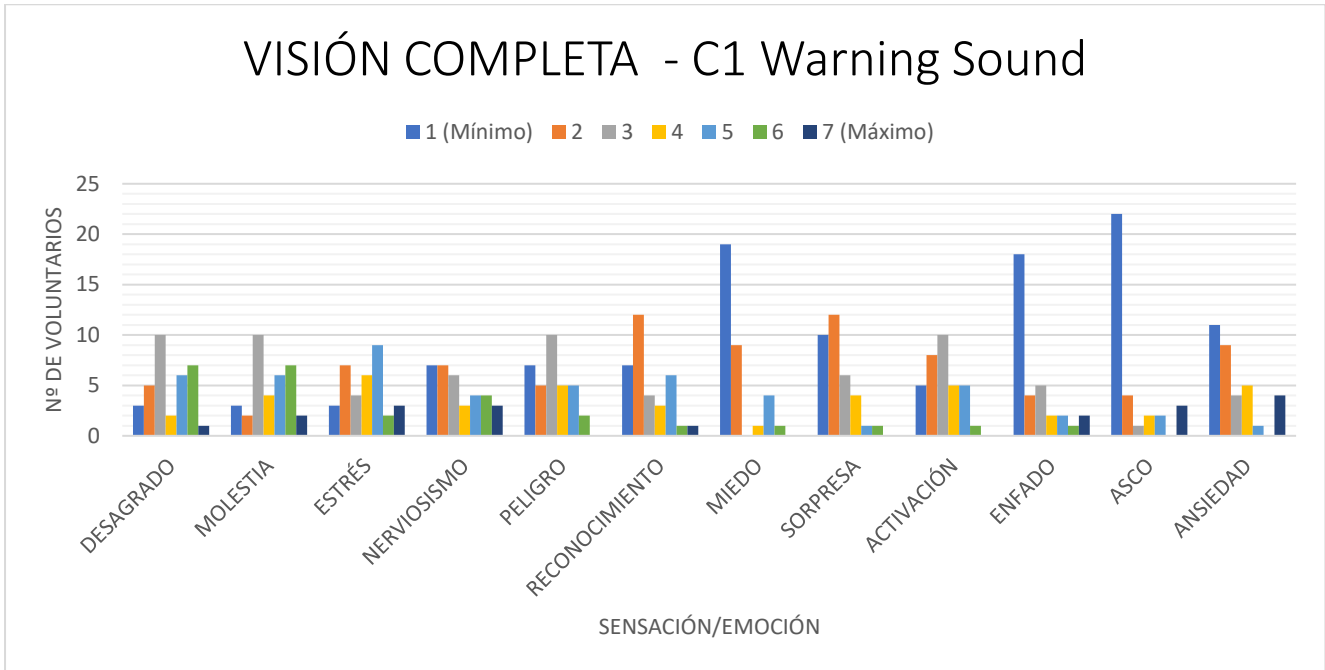


Figura 36.- Gráfica de respuestas de sujetos con visión completa para el Sonido 7

7.2. RESULTADOS DE LOS REGISTROS DE FRECUENCIA CARDÍACA

A continuación, se exponen en forma de tablas los valores medios calculados de los diferentes parámetros que se han establecido para la evaluación de la frecuencia cardíaca tras la exposición al sonido de advertencia, como se ha explicado anteriormente. Primero se muestra la tabla para las pulsaciones de los participantes con ceguera o baja visión, y después de aquellos con visión completa:

Tabla 1. Valores medios de las variables establecidas. Resultados para sujetos con ceguera o baja visión

PULSACIONES				
SONIDOS	VALLE	PICO	SUBIDA	REDUCCIÓN
InternalCombustion	72,0	75,9	4,0	4,1
MotorGear	71,8	76,3	4,5	4,9
RP1	71,4	75,6	4,1	4,4
RP2	71,1	75,7	4,6	4,2
Stimulus7	71,4	75,5	4,0	4,4
Stimulus3	71,1	75,2	4,1	2,8
C1 Warning Sound	72,4	77,0	5,6	

Tabla 2. Valores medios de las variables establecidas. Resultados para sujetos con visión completa

PULSACIONES				
SONIDOS	VALLE	PICO	SUBIDA	REDUCCIÓN
InternalCombustion	66,9	72,5	5,6	4,1
MotorGear	68,3	73,4	5,1	5,8
RP1	67,5	74,0	6,4	6,9
RP2	67,1	73,3	6,2	4,6
Stimulus7	68,8	74,3	5,5	7,3
Stimulus3	66,9	72,5	5,6	4,5
C1 Warning Sound	67,8	72,9	5,2	



8. INTERPRETACIÓN Y RECODIFICACIÓN DE VARIABLES

En este punto, surge la dificultad de tener entre manos una ingente cantidad de datos (63 participantes x 12 preguntas x 7 sonidos). Ante esta tesitura, se procede a realizar una simplificación de las variables para ayudar en el análisis estadístico, además de realizar algunos cambios en la manera de nombrar ciertas variables (en la traslación de la información sociodemográfica a Excel) que se procede a describir a continuación:

- Se identificó a HOMBRES con un 1 y a MUJERES con un 2 en la variable **GÉNERO** (variable binaria o nominal).
- Para convertir los datos de la variable **EDAD** (escalares: aceptan cualquier valor) en una binaria como el género (en aras de la simplificación de resultados), se ha calculado la mediana (valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados) de todas las edades, cuyo resultado es 43. Por tanto, la variable EDAD se ha recodificado para que aquellos participantes con 43 años o menos son identificados con un 1 (JUNIOR) y aquellos con 44 años o más son identificados con un 2 (SENIOR).
- Los datos de audición habían sido introducidos en una variable llamada así. El problema es que esta no era binaria o nominal, sino que era de formato **ordinal** (elección entre varias respuestas determinadas), con un rango que en este caso iba de 1 (audición completa) a 5 (pérdida de audición profunda), según las opciones presentadas a los participantes, ya expuestas en el apartado 6.3. Debido a que ningún participante reportó problemas por encima de “pérdidas leves”, se tomó la decisión de convertirla en binaria, creando otra variable llamada **AUDICIÓN**, cuyas únicas opciones pasaron a ser 0 (AUDICIÓN COMPLETA, donde en este caso 0 equivale a audición completa) y 1 (PROBLEMAS AUDITIVOS).
- Por último, también se procedió a convertir los datos de la ceguera o baja visión en otra binaria o nominal, en dos pasos: En las dos variables originales de ceguera o baja visión (cada una de ellas



asociadas a uno de los ojos: AGUDEZA_VISUAL_I, AGUDEZA_VISUAL_D) simplemente se apuntó el índice de visión, en un rango escalar (cualquier valor) que, como ya se ha visto, va desde 0 (ceguera total) a 1 (visión completa). En el primer paso, se ha creado una tercera variable, también escalar, llamada INDICESVISION, suma del índice de visión de ambos ojos, cuyo rango, por tanto, va de 0 (ceguera total en ambos ojos) a 2 (visión total en ambos ojos). En el segundo paso, esa tercera variable se recodifica a su vez en una binaria o nominal, llamada **VISIÓN**, considerando que ahora 0 equivale a VISIÓN COMPLETA (0 es interpretado como ausencia de problemas, por tanto, solo se identificará con este número a los sujetos que en la anterior suma hubiesen obtenido un 2) y 1 equivale a CEGUERA O BAJA VISIÓN (englobando a todos los participantes que en la anterior suma hubieran obtenido un valor entre 0 y 1,9).

En cuanto a las variables emocionales básicas a estudio, cuyos datos se han obtenido de las respuestas de los participantes, se pueden contemplar como directas a nivel individual o se pueden agrupar siguiendo el planteamiento teórico estudiado por Bradley y Lang [43] y por Bergman, Sköld, Västfjäll y Fransson [44]. Se pueden separar por un lado las medidas fisiológicas de las respuestas sobre sensaciones registradas. En aras de la simplificación en el número de variables disponibles, y de nuevo con el consenso del Departamento de Psicología de la salud, se ha tomado la decisión de agrupar los ítems elementales de la siguiente manera:

- La variable **Desagrado** se mantiene igual (1=NADA y 7=TOTALMENTE), ya que mide la valencia del sonido, categorizándolo como más positivo o negativo. Al trasladar la información a SPSS, las siete variables ordinales resultantes (una por sonido) se llamarán **SONIDOX_DESAGRADO**, siendo X un sonido determinado de entre los siete a estudio.
- Las variables **Molestia**, **Estrés** y **Nerviosismo** pueden entenderse como complementarias entre sí. Deberían correlacionar positivamente (ser directamente proporcionales). Estos ítems miden la intensidad de



la respuesta emocional del sonido, y junto con el Desagrado, pueden contemplarse como dimensiones evaluativas de la emoción, por lo que pueden entenderse como independientes. Debido a esto, las variables SONIDOX_MOLESTIA, SONIDOX ESTRÉS y SONIDOX_NERVIO, se han sumado para dar lugar a las siete variables ordinales que se usarán: **INTENSIDADEMOCIONALX** (cuyo rango es ahora desde 3, lo más relajante, a 21, lo más molesto).

- Las variables **Peligrosidad** y **Reconocimiento** también pueden entenderse como complementarias la una con la otra, y deberían correlacionar positivamente. La peligrosidad puede utilizarse como medida de respuesta adaptativa, entendiendo el estímulo como una amenaza. En cuanto al reconocimiento, también mide el valor adaptativo de la respuesta emocional al sonido. Se entiende que cuanto más se identifique un sonido como “vehículo”, más adaptativa será la respuesta emocional del sujeto que prepare al organismo para realizar la conducta adecuada; en este sentido, respuestas elevadas en emociones como el miedo o la ansiedad se podrían entender como adaptativas en este contexto. En resumen, se ha decidido entender la peligrosidad como algo positivo, ya que cuanto más peligroso un peatón considere el sonido del AVAS, más posibilidades hay de que sea más cauteloso y prudente a la hora de cruzar la calle, y se prevengan los accidentes. Por tanto, las variables SONIDOX_PELIGRO y SONIDOX_RECONOCIMIENTO se suman para transformarse en siete variables ordinales llamadas **RADAPTATIVAX** (cuyo rango es ahora también de 2 a 14). Sin embargo, surge otro problema. Mientras que con el resto de variables, responder 1 equivale a algo positivo en relación con el objetivo último de este estudio de encontrar el mejor sonido, con Peligrosidad y Reconocimiento ocurre lo contrario: se quiere que las respuestas sean 7 o lo más cercanas posibles. Por lo tanto, se ha realizado una segunda recodificación para invertir la escala (de manera que ahora el 2 equivale a 14, el 3 equivale a 13, ..., el 13 equivale a 3 y el 14



equivale a 2) de forma que el resultado son siete nuevas variables ordinales llamadas **R_ADAP_RECODIFICADAX**, que ahora sí, siguen la misma escala que el resto de variables.

- Las puntuaciones de las emociones básicas ordinales (Miedo, Sorpresa, Activación, Enfado, Asco y Ansiedad) se pueden analizar por separado o generando variables de orden superior, según convenga. En este caso se decidió mantenerlas como estaban: MIEDOX, SORPRESAX, ACTIVACIÓNX, ENFADOX, ASCOX, ANSIEDADX. Por lo tanto, quedan nueve variables emocionales básicas por sonido.

Finalmente, no se puede obviar la manera en la que se han recopilado los datos de la frecuencia cardíaca. Para el análisis estadístico que se pretende realizar, se llegó a la conclusión de que la variable más importante, y por tanto la única que se ha mantenido, es el aumento de la frecuencia cardíaca en el momento en el que el participante escucha los sonidos. Este dato ha sido recopilado en siete variables llamadas **SUBIDA_SX** – como se ha visto en el apartado 6.3 – siendo X el sonido del 1 al 7. Estas variables son escalares (aceptan cualquier valor), y como hemos explicado antes, es conveniente transformarlas a formato binario o nominal. Viendo que de entre todas las subidas de pulsaciones de todos los participantes para los siete sonidos, la mayor subida es 17, se ha decidido cortar por la mitad, y crear siete nuevas variables llamadas **AUMENTO_SX**, donde las opciones son 1 (aumento pequeño, de 1 a 8 pulsaciones) o 2 (aumento grande, de 9 a 17 pulsaciones).

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como ya se ha explicado previamente, el presente experimento tiene dos objetivos: realizar una clasificación en función de la respuesta emocional para encontrar el sonido de alerta óptimo y posteriormente comprobar cómo afectan fisiológicamente los diferentes sonidos propuestos a los distintos participantes dependiendo de sus condiciones sociodemográficas: Edad, Género, Visión y Audición. Antes de empezar, sin embargo, se va a realizar un estudio general de correlación entre variables. Todos los análisis se realizarán con el programa IBM SPSS Statistics 25. Para finalizar, se estudiará el impacto de los sonidos sobre la respuesta galvánica (sudoración) en la piel de los participantes, según lo expuesto en el apartado 6.3.

9.1. CORRELACIONES DE SPEARMAN

Se puede calcular una **correlación de Spearman (RHO, ρ)**, entre las 9 variables emocionales básicas, ya que todas son variables ordinales (resultados pertenecen a un número determinado de posibles respuestas). El objetivo sería comprobar si hay relaciones lineales y directamente proporcionales entre ellas. Se considera que el coeficiente de correlación entre dos variables es muy alto cuando su valor supera el 0,350 (error del 1% o menos). La fórmula es la que sigue:

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

Donde:

- . D es la diferencia entre los correspondientes estadísticos de orden $x - y$.
- . N es el número de parejas de datos.

Para ello, se han creado nueve variables ordinales adicionales. Cada una es el sumatorio de los siete sonidos de la variable básica en cuestión. Por lo tanto, tienen un rango que va desde 7 hasta 49. Estas variables llevarán de nombre el mismo que ya se ha visto para cada sonido independiente, pero sin el número X

(por ejemplo, la nueva variable SORPRESA será la suma de SORPRESA1, SORPRESA2, SORPRESA3, ... y SORPRESA7). Hay que tener en cuenta que no se está calculando la correlación entre los sonidos. La correlación entre variables debería ser independiente de ello. Lo que esto quiere decir, es que si se calcula la correlación entre las nueve variables del sonido 1, se obtendrán resultados muy parecidos a las correlaciones entre las nueve variables del sonido 4, y ambas serán muy parecidas a las correlaciones entre las nueve variables totales, que son las que se han calculado. Por esta misma razón, se ha seleccionado a los 63 participantes de la muestra sin ninguna discriminación sociodemográfica. Los resultados se exponen en la tabla 3, donde los números marcados con un doble asterisco (**) son aquellos que representan correlaciones altamente significativas, que pasamos a enumerar a continuación:

- . Desagrado con intensidad emocional, enfado y ansiedad.
- . Intensidad emocional (suma de molestia, estrés y nerviosismo) con respuesta adaptativa, miedo, activación, enfado y ansiedad.
- . Respuesta adaptativa (suma de peligrosidad y reconocimiento) con miedo, sorpresa y activación.
- . Miedo con sorpresa, activación, enfado y ansiedad.
- . Sorpresa con activación, enfado y ansiedad.
- . Activación con enfado y ansiedad.
- . Enfado con asco y ansiedad.
- . Asco con ansiedad.

Para resumir, las variables que más correlacionan con otras son enfado (con otras 7 variables), ansiedad (con 7), intensidad emocional (con 6), miedo (con 6) y activación (con 6). Las que menos correlacionan con otras son asco (con 2) y, sorprendentemente, desagrado (con 3), pese a que su correlación con intensidad emocional es una de las más importantes.

Tabla 3. Correlaciones de Spearman entre las distintas variables emocionales básicas

RHO DE SPEARMAN (ρ)		SONIDO_DE SAGRADO	INTENSIDAD EMOCIONAL	R_ADAP_RE CODIFICADA	MIEDO	SORPRESA	ACTIVACIÓN	ENFADO	ASCO	ANSIEDAD
SONIDO_DE SAGRADO	Coeficiente de correlación	1,000	,835**	,262	,296	,127	,258	,362**	,250	,372**
	Sig. (bilateral)		0,000	0,038	0,018	0,321	0,041	0,004	0,048	0,003
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63
INTENSIDAD EMOCIONAL	Coeficiente de correlación	,835**	1,000	,394**	,440**	,299	,451**	,534**	,285*	,597**
	Sig. (bilateral)	0,000		0,001	0,000	0,017	0,000	0,000	0,024	0,000
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63
R_ADAP_RE CODIFICADA	Coeficiente de correlación	,262	,394**	1,000	,464**	,537**	,547**	,187	,140	,265
	Sig. (bilateral)	0,038	0,001		0,000	0,000	0,000	0,143	0,273	0,036
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63
MIEDO	Coeficiente de correlación	,296	,440**	,464**	1,000	,714**	,600**	,476**	,272	,562**
	Sig. (bilateral)	0,018	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,031	0,000
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63
SORPRESA	Coeficiente de correlación	,127	,299	-,537**	,714**	1,000	,826**	,500**	,295*	,429**
	Sig. (bilateral)	0,321	0,017	0,000	0,000		0,000	0,000	0,019	0,000
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63
ACTIVACIÓN	Coeficiente de correlación	,258	,451**	,547**	,600**	,826**	1,000	,491**	,217	,497**
	Sig. (bilateral)	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,088	0,000
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63
ENFADO	Coeficiente de correlación	,362**	,534**	,187	,476**	,500**	,491**	1,000	,663**	,666**
	Sig. (bilateral)	0,004	0,000	0,143	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63
ASCO	Coeficiente de correlación	,250	,285	,140	,272	,295	,217	,663**	1,000	,475**
	Sig. (bilateral)	0,048	0,024	0,273	0,031	0,019	0,088	0,000		0,000
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63
ANSIEDAD	Coeficiente de correlación	,372**	,597**	,265	,562**	,429**	,497**	,666**	,475**	1,000
	Sig. (bilateral)	0,003	0,000	0,036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63

9.2. CLASIFICACIÓN PRELIMINAR DE SONIDOS

Se ha decidido hacer una clasificación preliminar de los siete sonidos utilizando un **análisis de tendencia central** (medida estadística que pretende resumir un conjunto de valores en uno solo) con **medianas**, para las tres grandes variables emocionales: el desagrado, la intensidad emocional y la respuesta adaptativa recodificada. A continuación, se muestra la tabla con los resultados, con la finalidad de poder ordenar los sonidos y permitir encontrar los mejores según los criterios establecidos previamente. Al igual que en el cálculo de correlaciones, se ha cogido la muestra entera de 63 personas sin ninguna discriminación sociodemográfica. Con el objetivo de resumir todo con un solo número se han creado otras siete nuevas variables, llamadas SUMA_SX, que, como su nombre bien indica, son la suma de las tres variables principales para cada uno de los siete sonidos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la mediana de la suma no será equivalente a la suma de la mediana de las tres variables principales, y también merece la pena recordar que en estos casos es mejor opción el sonido con la mediana más baja:

Tabla 4. Medianas y desviaciones típicas de las 3 variables principales y su suma para los 7 sonidos.

MEDIANAS SONIDOS	SONIDOX_DESAGRADO	INTENSIDADEMOCIONALX	R_ADAP_RECODIFICADAX	SUMA_SX
InternalCombustion	3,00 (DT=1,69)	10,00 (DT=4,44)	7,00 (DT=2,91)	21,00 (DT=5,65)
MotorGear	3,00 (DT=1,55)	11,00 (DT=4,85)	10,00 (DT=2,62)	22,00 (DT=5,99)
RP1	5,00 (DT=1,81)	15,00 (DT=5,33)	10,00 (DT=2,86)	29,00 (DT=7,00)
RP2	5,00 (DT=1,49)	14,00 (DT=4,17)	9,00 (DT=2,85)	27,00 (DT=5,31)
Stimulus7	4,00 (DT=1,78)	13,00 (DT=4,82)	10,00 (DT=2,74)	26,50 (DT=6,15)
Stimulus3	3,00 (DT=1,62)	12,00 (DT=4,80)	10,00 (DT=2,80)	24,00 (DT=6,34)
C1 Warning Sound	3,00 (DT=1,70)	10,00 (DT=4,89)	10,00 (DT=2,64)	23,00 (DT=6,61)

Como puede observarse, desde el punto de vista de la respuesta adaptativa (que es el que en principio más interesa y beneficia a los fabricantes de automóviles, ya que implica reconocimiento y por lo tanto evitación de accidentes), el sonido 1 (InternalCombustion, imitación de un ICE) y el 4 (RP2)



son los que mejores puntuaciones obtienen. El sonido 1 se mantiene constante como el mejor o empatado en todas las categorías, lo que dice mucho de lo importante que es la familiaridad de un sonido conocido para los participantes. Los sonidos 2 (MotorGear), 6 (Stimulus3) y 7 (C1 con WS), obtienen buenas puntuaciones en desagrado e intensidad emocional, pero no en respuesta adaptativa. Si se atiende a la suma, claramente los sonidos 1, 2, 6 y 7 sobresalen con respecto al resto. De lo que no hay duda es de que los sonidos 3 (RP1) y 5 (Stimulus7) no han destacado en ninguna categoría, y por lo tanto, a la espera de los resultados de otros análisis más exhaustivos, inicialmente se recomendaría no incluirlos como sonido de advertencia artificial en EVs y HEVs.

9.3. ANÁLISIS DISCRIMINANTE DE LOS SONIDOS PARA DISTINTAS POBLACIONES

Para conocer que sonidos discriminan en cuanto a la intensidad emocional, la respuesta adaptativa y el incremento de la frecuencia cardíaca (**variables dependientes**), con respecto a las cuatro variables sociodemográficas a estudio (Visión, Audición, Género y Edad, **variables independientes**), se lleva a cabo una comparación de medias mediante el estudio estadístico de contraste “T – Student”.

Sin embargo, para llegar a este punto, previamente se tendrá que haber calculado los supuestos de normalidad, independencia y homoscedasticidad. A continuación, se pasa a explicar en qué consisten estos estudios:

- **Normalidad:** Se calcula con el objetivo de conocer si la muestra en cuestión sigue una distribución normal, es decir, si los resultados podrían extrapolarse a poblaciones mucho más grandes, y por lo tanto permitirían calcular pruebas paramétricas. Si la muestra es mayor de 50 sujetos, se calculará mediante la **prueba de Kolmogorov-Smirnov**. Si por el contrario la muestra es menor de 50 sujetos, se utiliza la **prueba de Shapiro-Wilk**. En este caso, como se separa entre visión completa/ceguera o baja visión, audición completa/problemas de audición, hombre/mujer y junior/senior, ninguna de las muestras será mayor de 50, por lo que se usará la segunda de las pruebas

mencionadas. El estadístico de prueba es:

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

Donde:

- . Con la muestra ordenada de menor a mayor, $x(i)$ es el número que ocupa la posición i -ésima en la muestra.
- . $x: (x_1 + \dots + x_n) / n$ es la media muestral.
- . a_i se calcula como:

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

Con:

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

- **Independencia:** Obtenido mediante la **prueba de rachas**, se calcula con el objetivo de comprobar si los errores encontrados son producto del azar o no. Para ello se utilizará la **mediana como valor de prueba**, para evitar los casos extremos.
- **Homoscedasticidad:** Este tercer supuesto supone la primera parte del proceso para llegar a comprobar si existe una **homogeneidad** en las respuestas, es decir, si habrá diferencias estadísticamente significativas entre los sujetos dependiendo de en qué lado están respecto a las cuatro variables discriminantes. Se obtendrá mediante la **prueba de Levene**, que examina la igualdad o desigualdad de varianzas (medida de dispersión utilizada para representar la variabilidad de un conjunto de datos respecto a la media aritmética de los mismos) sobre una variable calculada para múltiples grupos.

Para saber si todos estos supuestos se cumplen o no, se asume un nivel de confianza del 95% o de 0,95 sobre 1. Esto significa que los resultados serán positivos si la significación (Sig.) bilateral (lo contrario al error) supera el 5% (el error máximo admisible) o el 0,05 sobre 1.

Una vez que se ha comprobado la homoscedasticidad (dependiendo de la significación obtenida se sabrá si se asumen varianzas iguales o no), se pasa a la segunda parte de dicho proceso analizando los resultados de la **prueba T-Student**, o **prueba T**, donde la distribución de probabilidad del cociente es:

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

Los resultados de esta prueba siguen el mismo precepto que los supuestos anteriores: se busca un error inferior al 5%. Esto significará definitivamente que los sonidos no discriminarán poblacionalmente a los distintos grupos sociodemográficos, y por tanto, no existirán diferencias estadísticamente significativas entre dichos grupos.

A continuación, se pasa a mostrar los resultados pormenorizados y detallados de todos estos estudios, realizados de nuevo con el programa IBM SPSS Statistics 25. Primero se verá el bloque de normalidad, después el de independencia, y por último el de homoscedasticidad y la prueba T-Student. Cada bloque estará representado por un color diferente y estará dividido entre los cuatro aspectos sociodemográficos anteriormente mencionados, según las diferencias que se pueden encontrar en cuanto a la intensidad emocional, la respuesta adaptativa y el incremento de frecuencia cardíaca en los siete sonidos a estudio:

9.3.1. Normalidad

Tabla 5. Resultados del estudio de normalidad de la intensidad emocional relativo a la visión

VISIÓN		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
INTENSIDADEMOCIONAL1	VISIÓN COMPLETA	0,113	34	0,2	0,973	34	0,559
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,094	29	0,2	0,955	29	0,240
INTENSIDADEMOCIONAL2	VISIÓN COMPLETA	0,086	34	0,2	0,980	34	0,758
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,188	29	0,010	0,932	29	0,062
INTENSIDADEMOCIONAL3	VISIÓN COMPLETA	0,146	34	0,063	0,918	34	0,014
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,103	29	0,2	0,932	29	0,061
INTENSIDADEMOCIONAL4	VISIÓN COMPLETA	0,127	34	0,180	0,948	34	0,110
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,087	29	0,2	0,971	29	0,596
INTENSIDADEMOCIONAL5	VISIÓN COMPLETA	0,152	34	0,044	0,958	34	0,208
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,121	29	0,2	0,963	29	0,390
INTENSIDADEMOCIONAL6	VISIÓN COMPLETA	0,162	34	0,024	0,955	34	0,173
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,092	29	0,2	0,968	29	0,502
INTENSIDADEMOCIONAL7	VISIÓN COMPLETA	0,154	34	0,040	0,939	34	0,057
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,102	29	0,2	0,957	29	0,279

Tabla 6. Resultados del estudio de normalidad de la intensidad emocional relativo a la audición

AUDICIÓN		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
INTENSIDADEMOCIONAL1	AUDICIÓN COMPLETA	0,124	49	0,056	0,967	49	0,190
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,121	14	0,2	0,955	14	0,645
INTENSIDADEMOCIONAL2	AUDICIÓN COMPLETA	0,126	49	0,052	0,959	49	0,090
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,102	14	0,2	0,947	14	0,522
INTENSIDADEMOCIONAL3	AUDICIÓN COMPLETA	0,144	49	0,012	0,902	49	0,001
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,108	14	0,2	0,978	14	0,959
INTENSIDADEMOCIONAL4	AUDICIÓN COMPLETA	0,122	49	0,064	0,959	49	0,088
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,134	14	0,2	0,946	14	0,507
INTENSIDADEMOCIONAL5	AUDICIÓN COMPLETA	0,155	49	0,005	0,949	49	0,035
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,172	14	0,2	0,914	14	0,181
INTENSIDADEMOCIONAL6	AUDICIÓN COMPLETA	0,094	49	0,2	0,965	49	0,146
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,225	14	0,054	0,880	14	0,058
INTENSIDADEMOCIONAL7	AUDICIÓN COMPLETA	0,130	49	0,038	0,941	49	0,017
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,146	14	0,2	0,981	14	0,978

Tabla 7. Resultados del estudio de normalidad de la intensidad emocional relativo al género

GÉNERO		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
INTENSIDADEMOCIONAL1	HOMBRE	0,120	42	0,134	0,965	42	0,222
	MUJER	0,223	21	0,008	0,941	21	0,229
INTENSIDADEMOCIONAL2	HOMBRE	0,134	42	0,056	0,959	42	0,140
	MUJER	0,160	21	0,171	0,941	21	0,229
INTENSIDADEMOCIONAL3	HOMBRE	0,151	42	0,018	0,917	42	0,005
	MUJER	0,172	21	0,104	0,920	21	0,086
INTENSIDADEMOCIONAL4	HOMBRE	0,139	42	0,041	0,965	42	0,231
	MUJER	0,143	21	0,200	0,941	21	0,224
INTENSIDADEMOCIONAL5	HOMBRE	0,142	42	0,033	0,961	42	0,161
	MUJER	0,183	21	0,066	0,929	21	0,132
INTENSIDADEMOCIONAL6	HOMBRE	0,146	42	0,025	0,964	42	0,204
	MUJER	0,099	21	0,200	0,942	21	0,240
INTENSIDADEMOCIONAL7	HOMBRE	0,133	42	0,061	0,950	42	0,063
	MUJER	0,100	21	0,200	0,964	21	0,591

Tabla 8. Resultados del estudio de normalidad de la intensidad emocional relativo a la edad

EDAD		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
INTENSIDADEMOCIONAL1	JUNIOR	0,133	33	0,147	0,958	33	0,223
	SENIOR	0,128	30	0,2	0,977	30	0,748
INTENSIDADEMOCIONAL2	JUNIOR	0,129	33	0,176	0,949	33	0,126
	SENIOR	0,110	30	0,2	0,970	30	0,546
INTENSIDADEMOCIONAL3	JUNIOR	0,101	33	0,2	0,933	33	0,043
	SENIOR	0,157	30	0,058	0,919	30	0,026
INTENSIDADEMOCIONAL4	JUNIOR	0,177	33	0,010	0,969	33	0,450
	SENIOR	0,150	30	0,084	0,930	30	0,048
INTENSIDADEMOCIONAL5	JUNIOR	0,148	33	0,064	0,959	33	0,247
	SENIOR	0,126	30	0,2	0,967	30	0,458
INTENSIDADEMOCIONAL6	JUNIOR	0,102	33	0,2	0,968	33	0,420
	SENIOR	0,143	30	0,122	0,951	30	0,180
INTENSIDADEMOCIONAL7	JUNIOR	0,203	33	0,001	0,904	33	0,007
	SENIOR	0,117	30	0,2	0,965	30	0,402

Tabla 9. Resultados del estudio de normalidad de la respuesta adaptativa relativo a la visión

VISIÓN		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
R_ADAP_RECODIFICADA1	VISIÓN COMPLETA	0,162	34	0,023	0,898	34	0,004
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,179	28	0,023	0,941	28	0,117
R_ADAP_RECODIFICADA2	VISIÓN COMPLETA	0,149	34	0,055	0,945	34	0,090
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,108	28	0,2	0,973	28	0,669
R_ADAP_RECODIFICADA3	VISIÓN COMPLETA	0,146	34	0,064	0,937	34	0,052
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,133	28	0,2	0,965	28	0,448
R_ADAP_RECODIFICADA4	VISIÓN COMPLETA	0,108	34	0,2	0,963	34	0,301
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,136	28	0,196	0,965	28	0,460
R_ADAP_RECODIFICADA5	VISIÓN COMPLETA	0,098	34	0,2	0,926	34	0,024
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,112	28	0,2	0,956	28	0,282
R_ADAP_RECODIFICADA6	VISIÓN COMPLETA	0,118	34	0,2	0,936	34	0,046
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,184	28	0,016	0,934	28	0,076
R_ADAP_RECODIFICADA7	VISIÓN COMPLETA	0,176	34	0,009	0,919	34	0,015
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,156	28	0,079	0,956	28	0,280

Tabla 10. Resultados del estudio de normalidad de la respuesta adaptativa relativo a la audición

AUDICIÓN		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
R_ADAP_RECODIFICADA1	AUDICIÓN COMPLETA	0,168	49	0,001	0,913	49	0,001
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,305	13	0,002	0,890	13	0,097
R_ADAP_RECODIFICADA2	AUDICIÓN COMPLETA	0,116	49	0,095	0,957	49	0,075
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,161	13	0,2	0,956	13	0,697
R_ADAP_RECODIFICADA3	AUDICIÓN COMPLETA	0,128	49	0,042	0,946	49	0,027
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,122	13	0,2	0,949	13	0,589
R_ADAP_RECODIFICADA4	AUDICIÓN COMPLETA	0,102	49	0,2	0,954	49	0,053
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,166	13	0,2	0,968	13	0,872
R_ADAP_RECODIFICADA5	AUDICIÓN COMPLETA	0,091	49	0,2	0,947	49	0,029
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,141	13	0,2	0,942	13	0,486
R_ADAP_RECODIFICADA6	AUDICIÓN COMPLETA	0,133	49	0,031	0,941	49	0,016
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,203	13	0,147	0,851	13	0,030
R_ADAP_RECODIFICADA7	AUDICIÓN COMPLETA	0,153	49	0,006	0,953	49	0,047
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,204	13	0,144	0,897	13	0,122

Tabla 11. Resultados del estudio de normalidad de la respuesta adaptativa relativo al género

GÉNERO		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
R_ADAP_RECODIFICADA1	HOMBRE	0,153	41	0,017	0,917	41	0,006
	MUJER	0,166	21	0,137	0,927	21	0,120
R_ADAP_RECODIFICADA2	HOMBRE	0,104	41	0,2	0,967	41	0,283
	MUJER	0,181	21	0,070	0,946	21	0,282
R_ADAP_RECODIFICADA3	HOMBRE	0,190	41	0,001	0,911	41	0,004
	MUJER	0,171	21	0,110	0,908	21	0,049
R_ADAP_RECODIFICADA4	HOMBRE	0,158	41	0,011	0,943	41	0,040
	MUJER	0,127	21	0,2	0,964	21	0,599
R_ADAP_RECODIFICADA5	HOMBRE	0,125	41	0,107	0,940	41	0,031
	MUJER	0,129	21	0,2	0,944	21	0,266
R_ADAP_RECODIFICADA6	HOMBRE	0,129	41	0,081	0,943	41	0,039
	MUJER	0,132	21	0,2	0,925	21	0,107
R_ADAP_RECODIFICADA7	HOMBRE	0,143	41	0,033	0,952	41	0,081
	MUJER	0,207	21	0,019	0,939	21	0,204

Tabla 12. Resultados del estudio de normalidad de la respuesta adaptativa relativo a la edad

EDAD		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
R_ADAP_RECODIFICADA1	JUNIOR	0,173	33	0,013	0,889	33	0,003
	SENIOR	0,148	29	0,107	0,952	29	0,202
R_ADAP_RECODIFICADA2	JUNIOR	0,133	33	0,146	0,948	33	0,115
	SENIOR	0,162	29	0,050	0,957	29	0,270
R_ADAP_RECODIFICADA3	JUNIOR	0,116	33	0,2	0,950	33	0,134
	SENIOR	0,134	29	0,195	0,955	29	0,249
R_ADAP_RECODIFICADA4	JUNIOR	0,132	33	0,158	0,953	33	0,162
	SENIOR	0,111	29	0,2	0,969	29	0,536
R_ADAP_RECODIFICADA5	JUNIOR	0,130	33	0,169	0,926	33	0,027
	SENIOR	0,149	29	0,100	0,919	29	0,030
R_ADAP_RECODIFICADA6	JUNIOR	0,099	33	0,2	0,949	33	0,128
	SENIOR	0,169	29	0,033	0,930	29	0,056
R_ADAP_RECODIFICADA7	JUNIOR	0,171	33	0,015	0,955	33	0,188
	SENIOR	0,140	29	0,154	0,950	29	0,183

Tabla 13. Resultados del estudio de normalidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la visión

VISIÓN		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AUMENTO_S1	VISIÓN COMPLETA	0,226	32	0,000	0,824	32	0,000
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,172	27	0,038	0,938	27	0,108
AUMENTO_S2	VISIÓN COMPLETA	0,105	32	0,2	0,945	32	0,101
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,140	27	0,185	0,952	27	0,245
AUMENTO_S3	VISIÓN COMPLETA	0,243	32	0,000	0,871	32	0,001
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,256	27	0,000	0,891	27	0,008
AUMENTO_S4	VISIÓN COMPLETA	0,141	32	0,107	0,921	32	0,022
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,171	27	0,042	0,801	27	0,000
AUMENTO_S5	VISIÓN COMPLETA	0,178	32	0,012	0,927	32	0,033
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,141	27	0,182	0,966	27	0,493
AUMENTO_S6	VISIÓN COMPLETA	0,198	32	0,003	0,876	32	0,002
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,251	27	0,000	0,849	27	0,001
AUMENTO_S7	VISIÓN COMPLETA	0,187	32	0,006	0,909	32	0,011
	CEGUERA O BAJA VISIÓN	0,151	27	0,114	0,904	27	0,017



Tabla 14. Resultados del estudio de normalidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la audición

AUDICIÓN		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AUMENTO_S1	AUDICIÓN COMPLETA	0,214	45	0,000	0,839	45	0,000
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,233	14	0,038	0,924	14	0,247
AUMENTO_S2	AUDICIÓN COMPLETA	0,131	45	0,052	0,952	45	0,058
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,127	14	0,2	0,927	14	0,279
AUMENTO_S3	AUDICIÓN COMPLETA	0,192	45	0,000	0,868	45	0,000
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,194	14	0,163	0,881	14	0,060
AUMENTO_S4	AUDICIÓN COMPLETA	0,187	45	0,000	0,865	45	0,000
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,135	14	0,2	0,907	14	0,142
AUMENTO_S5	AUDICIÓN COMPLETA	0,152	45	0,011	0,947	45	0,039
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,194	14	0,162	0,916	14	0,191
AUMENTO_S6	AUDICIÓN COMPLETA	0,193	45	0,000	0,850	45	0,000
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,252	14	0,016	0,841	14	0,017
AUMENTO_S7	AUDICIÓN COMPLETA	0,145	45	0,018	0,910	45	0,002
	PROBLEMAS AUDITIVOS	0,174	14	0,2	0,887	14	0,074

Tabla 15. Resultados del estudio de normalidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo al género

GÉNERO		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AUMENTO_S1	HOMBRE	0,217	39	0,000	0,840	39	0,000
	MUJER	0,200	20	0,035	0,835	20	0,003
AUMENTO_S2	HOMBRE	0,119	39	0,177	0,934	39	0,024
	MUJER	0,180	20	0,090	0,956	20	0,459
AUMENTO_S3	HOMBRE	0,215	39	0,000	0,833	39	0,000
	MUJER	0,171	20	0,126	0,884	20	0,021
AUMENTO_S4	HOMBRE	0,190	39	0,001	0,829	39	0,000
	MUJER	0,159	20	0,2	0,935	20	0,190
AUMENTO_S5	HOMBRE	0,189	39	0,001	0,924	39	0,012
	MUJER	0,180	20	0,090	0,948	20	0,334
AUMENTO_S6	HOMBRE	0,211	39	0,000	0,918	39	0,008
	MUJER	0,325	20	0,000	0,696	20	0,000
AUMENTO_S7	HOMBRE	0,162	39	0,011	0,884	39	0,001
	MUJER	0,191	20	0,054	0,900	20	0,041

Tabla 16. Resultados del estudio de normalidad del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la edad

EDAD		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AUMENTO_S1	JUNIOR	0,213	32	0,001	0,812	32	0,000
	SENIOR	0,204	27	0,005	0,896	27	0,011
AUMENTO_S2	JUNIOR	0,108	32	0,2	0,952	32	0,159
	SENIOR	0,143	27	0,165	0,942	27	0,134
AUMENTO_S3	JUNIOR	0,172	32	0,017	0,886	32	0,003
	SENIOR	0,221	27	0,002	0,814	27	0,000
AUMENTO_S4	JUNIOR	0,181	32	0,009	0,894	32	0,004
	SENIOR	0,179	27	0,027	0,856	27	0,002
AUMENTO_S5	JUNIOR	0,175	32	0,014	0,940	32	0,077
	SENIOR	0,136	27	0,2	0,945	27	0,161
AUMENTO_S6	JUNIOR	0,165	32	0,027	0,900	32	0,006
	SENIOR	0,252	27	0,000	0,742	27	0,000
AUMENTO_S7	JUNIOR	0,184	32	0,007	0,875	32	0,002
	SENIOR	0,156	27	0,088	0,904	27	0,017

En lo relativo a la intensidad emocional (molestia + estrés + nerviosismo), se observa que por lo general se obtienen valores de significación mucho más altos en los sujetos con ceguera o baja visión en comparación con aquellos de visión completa, así como también se obtendrán valores de significación bastante más elevados para la población con problemas auditivos en contraste con los sujetos con audición completa. En la discriminación por género o edades, los resultados son bastante equitativos. El sonido 3 (RP1) en particular parece ser el que más problemas arroja inicialmente, ya que tanto para la audición completa, para visión completa, para el género masculino, y para ambos rangos de edades, el valor de error ha sido mayor al 5% permisible, por lo que no se cumple el supuesto de normalidad (resultados extrapolables a poblaciones mayores). Tampoco se cumple la normalidad en el colectivo senior para el sonido 4 (RP2), el junior para el sonido 7 (C1 Warning Sound) y en el colectivo con audición completa para los sonidos 5 (Stimulus7) y 7.

En cuanto a la respuesta adaptativa (peligrosidad + reconocimiento), los resultados son bastante semejantes, en lo relativo a que, de nuevo, la significación para personas con baja visión o audición es mayor que para aquellos con ambos sentidos intactos respectivamente. Este hecho probablemente se deba a que las personas con baja visión tienen mayor sensibilidad a los estímulos sonoros del entorno, por lo que, debido a que el objetivo último de este estudio es ayudar a dichas personas, entre varios colectivos vulnerables a accidentes de tráfico, el hecho de que se obtengan valores de significación elevados para ellos, y por tanto se puedan aplicar estos resultados en poblaciones mucho mayores, es un resultado enormemente positivo. En cuanto a la edad, se vuelven a encontrar resultados bastante equivalentes. Y en cuanto al género, en este caso se encontrará que los hombres han obtenido valores de significación bastante peores que las mujeres. En lo relativo a sonidos en particular, se hallarán bastantes problemas con el 5 (no se cumple la normalidad para el colectivo con buena visión, para el colectivo con buena audición, para los hombres y para los sujetos en ambos rangos de edades). También han dado algunos problemas, aunque en considerablemente menor medida, los sonidos 1 (InternalCombustion) y 6 (Stimulus3).



Por último, cuando se trata del aumento de la frecuencia cardíaca, se han obtenido valores de normalidad muy negativos para todo tipo de colectivos y para todos los sonidos (hasta el punto de que 22 de los 56 valores de significación que se han calculado arrojan entre un 99 y un 100% de error), con la excepción del sonido 2 (MotorGear), que sí ofrece números positivos generalizados. Sin embargo, debido a la enorme diferencia entre buenos y malos resultados, se supone una imposibilidad el aceptar ninguno de estos datos como válidos y extraer conclusiones de ellos. Se asumirá que son fruto de la coincidencia, y que utilizar el incremento de la frecuencia cardíaca o bien no es un método apropiado para extraer conclusiones, o bien la manera de tomar y/o interpretar dichos datos fue bastante deficiente. Para constatarlo se recurrirá a las pruebas de independencia que se han realizado y que se pasan a detallar:

9.3.2. Independencia

Tabla 17. Resultados del estudio de independencia de la intensidad emocional

	INTENSIDAD EMOCIONAL 1	INTENSIDAD EMOCIONAL 2	INTENSIDAD EMOCIONAL 3	INTENSIDAD EMOCIONAL 4	INTENSIDAD EMOCIONAL 5	INTENSIDAD EMOCIONAL 6	INTENSIDAD EMOCIONAL 7
Valor de prueba^a	10,00	11,00	15,00	14,00	13,00	12,00	10,00
Casos < Valor de prueba	30	31	30	25	30	31	27
Casos >= Valor de prueba	33	32	33	38	33	32	36
Casos totales	63	63	63	63	63	63	63
Número de rachas	34	32	33	33	34	33	26
Z	0,400	-0,125	0,145	0,489	0,400	0,129	-1,519
Sig. asintótica(bilateral)	0,689	0,900	0,884	0,625	0,689	0,897	0,129

a. Mediana

Tabla 18. Resultados del estudio de independencia de la respuesta adaptativa

	R_ADAP_RE CODIFICADA 1	R_ADAP_RE CODIFICADA 2	R_ADAP_RE CODIFICADA 3	R_ADAP_RE CODIFICADA 4	R_ADAP_RE CODIFICADA 5	R_ADAP_RE CODIFICADA 6	R_ADAP_RE CODIFICADA 7
Valor de prueba^a	5,00	8,00	8,00	7,00	8,00	8,00	8,00
Casos < Valor de prueba	28	30	27	25	23	23	23
Casos >= Valor de prueba	35	33	36	38	39	40	40
Casos totales	63	63	63	63	62	63	63
Número de rachas	34	32	28	37	30	29	28
Z	0,486	-0,109	-1,001	1,551	0,018	-0,331	-0,605
Sig. asintótica(bilateral)	0,627	0,913	0,317	0,121	0,986	0,741	0,545

a. Mediana



Tabla 19. Resultados del estudio de independencia del incremento de la frecuencia cardíaca

	AUMENTO_S 1	AUMENTO_S 2	AUMENTO_S 3	AUMENTO_S 4	AUMENTO_S 5	AUMENTO_S 6	AUMENTO_S 7
Valor de prueba^a	4	5	5	5	5	4	4
Casos < Valor de prueba	23	30	29	28	30	25	20
Casos >= Valor de prueba	36	30	30	31	30	35	39
Casos totales	59	60	59	59	60	60	59
Número de rachas	28	33	31	28	29	32	26
Z	-0,295	0,521	0,134	-0,638	-0,521	0,491	-0,423
Sig. asintótica(bilateral)	0,768	0,602	0,894	0,523	0,602	0,623	0,672

a. Mediana

Para estos estudios, los resultados son claros y fáciles de interpretar: se han obtenido valores de significación muy elevados para los siete sonidos en los tres análisis de independencia realizados, con la excepción del sonido 7 (C1 Warning Sound) para la intensidad emocional y del sonido 4 (RP2) para la respuesta adaptativa, cuyos valores son inferiores al resto, pero de ninguna manera negativos.

Estos resultados indican que el supuesto de independencia se está cumpliendo para todas las situaciones, lo que significa que los errores encontrados son producto de la coincidencia y no son signo de ninguna tendencia negativa de la que habría que preocuparse, y por lo tanto, que los resultados tan negativos obtenidos en los estudios de normalidad para el aumento de frecuencia cardíaca verdaderamente se deben a que la toma de datos o su interpretación no han sido realizados de manera correcta, o que realmente no hay correlación entre los sonidos y las pulsaciones y no pueden obtenerse respuestas significativas de estos datos.

Se finaliza con el análisis de supuestos centrándose en la homoscedasticidad (mediante la prueba de Levene) y la prueba T – Student:

9.3.3. Homoscedasticidad y T – Student

En cuanto a la intensidad emocional, se observa que por lo general se tienen valores de significación bastante elevados para casi todos los sonidos y para las

Tabla 20. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T-Student de la intensidad emocional relativo a la visión

VISIÓN		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
INTENSIDADEMOCIONAL1	Se asumen varianzas iguales	0,152	0,698	1,279	61	0,206	1,42901	1,11738	-0,80533	3,66334
	No se asumen varianzas iguales			1,274	58,528	0,208	1,42901	1,12135	-0,81518	3,67320
INTENSIDADEMOCIONAL2	Se asumen varianzas iguales	0,778	0,381	1,175	61	0,245	1,43712	1,22334	-1,00909	3,88333
	No se asumen varianzas iguales			1,166	57,312	0,248	1,43712	1,23252	-1,03068	3,90492
INTENSIDADEMOCIONAL3	Se asumen varianzas iguales	2,491	0,120	1,964	61	0,054	2,58621	1,31665	-0,04660	5,21901
	No se asumen varianzas iguales			1,924	52,047	0,060	2,58621	1,34444	-0,11155	5,28397
INTENSIDADEMOCIONAL4	Se asumen varianzas iguales	0,101	0,752	1,165	61	0,249	1,22414	1,05087	-0,87720	3,32548
	No se asumen varianzas iguales			1,159	57,950	0,251	1,22414	1,05666	-0,89103	3,33930
INTENSIDADEMOCIONAL5	Se asumen varianzas iguales	0,011	0,919	0,656	61	0,514	0,80325	1,22444	-1,64517	3,25166
	No se asumen varianzas iguales			0,654	58,492	0,516	0,80325	1,22894	-1,65630	3,26279
INTENSIDADEMOCIONAL6	Se asumen varianzas iguales	0,087	0,769	0,850	61	0,399	1,03245	1,21488	-1,39684	3,46175
	No se asumen varianzas iguales			0,846	58,223	0,401	1,03245	1,22047	-1,41039	3,47529
INTENSIDADEMOCIONAL7	Se asumen varianzas iguales	2,573	0,114	1,268	61	0,210	1,55984	1,23007	-0,89984	4,01951
	No se asumen varianzas iguales			1,282	60,962	0,205	1,55984	1,21668	-0,87309	3,99276

Tabla 21. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T-Student de la intensidad emocional relativo a la audición

AUDICIÓN		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
INTENSIDADEMOCIONAL1	Se asumen varianzas iguales	0,340	0,562	1,413	61	0,163	1,88776	1,33575	-0,78325	4,55876
	No se asumen varianzas iguales			1,558	24,552	0,132	1,88776	1,21197	-0,61065	4,38616
INTENSIDADEMOCIONAL2	Se asumen varianzas iguales	1,627	0,207	0,900	61	0,371	1,32653	1,47338	-1,61967	4,27273
	No se asumen varianzas iguales			1,034	26,539	0,310	1,32653	1,28231	-1,30669	3,95975
INTENSIDADEMOCIONAL3	Se asumen varianzas iguales	1,385	0,244	0,471	61	0,639	0,76531	1,62471	-2,48350	4,01412
	No se asumen varianzas iguales			0,530	25,490	0,601	0,76531	1,44415	-2,20609	3,73670
INTENSIDADEMOCIONAL4	Se asumen varianzas iguales	2,105	0,152	0,586	61	0,560	0,74490	1,27023	-1,79507	3,28487
	No se asumen varianzas iguales			0,522	18,205	0,608	0,74490	1,42594	-2,24848	3,73827
INTENSIDADEMOCIONAL5	Se asumen varianzas iguales	7,565	0,008	0,942	61	0,350	1,37755	1,46253	-1,54696	4,30206
	No se asumen varianzas iguales			1,237	35,861	0,224	1,37755	1,11367	-0,88139	3,63649
INTENSIDADEMOCIONAL6	Se asumen varianzas iguales	0,249	0,620	-0,118	61	0,906	-0,17347	1,46492	-3,10276	2,75582
	No se asumen varianzas iguales			-0,125	22,697	0,902	-0,17347	1,39245	-3,05610	2,70916
INTENSIDADEMOCIONAL7	Se asumen varianzas iguales	1,644	0,205	-0,748	61	0,457	-1,11224	1,48722	-4,08612	1,86163
	No se asumen varianzas iguales			-0,832	24,957	0,413	-1,11224	1,33718	-3,86645	1,64196

Tabla 22. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T-Student de la intensidad emocional relativo al género

GÉNERO		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
INTENSIDADEMOCIONAL1	Se asumen varianzas iguales	1,052	0,309	-1,064	61	0,292	-1,26190	1,18620	-3,63386	1,11005
	No se asumen varianzas iguales			-1,091	42,883	0,281	-1,26190	1,15687	-3,59515	1,07134
INTENSIDADEMOCIONAL2	Se asumen varianzas iguales	0,075	0,785	-0,676	61	0,502	-0,88095	1,30313	-3,48672	1,72481
	No se asumen varianzas iguales			-0,670	39,240	0,506	-0,88095	1,31397	-3,53818	1,77628
INTENSIDADEMOCIONAL3	Se asumen varianzas iguales	0,101	0,752	0,299	61	0,766	0,42857	1,43441	-2,43972	3,29686
	No se asumen varianzas iguales			0,294	38,541	0,770	0,42857	1,45629	-2,51817	3,37532
INTENSIDADEMOCIONAL4	Se asumen varianzas iguales	0,033	0,856	-0,403	61	0,688	-0,45238	1,12189	-2,69574	1,79098
	No se asumen varianzas iguales			-0,415	43,273	0,680	-0,45238	1,09047	-2,65113	1,74637
INTENSIDADEMOCIONAL5	Se asumen varianzas iguales	0,154	0,696	0,998	61	0,322	1,28571	1,28870	-1,29121	3,86264
	No se asumen varianzas iguales			0,979	38,178	0,334	1,28571	1,31311	-1,37213	3,94356
INTENSIDADEMOCIONAL6	Se asumen varianzas iguales	0,009	0,923	2,222	61	0,030	2,76190	1,24276	0,27686	5,24695
	No se asumen varianzas iguales			2,200	39,061	0,034	2,76190	1,25527	0,22301	5,30080
INTENSIDADEMOCIONAL7	Se asumen varianzas iguales	0,077	0,783	-1,076	61	0,286	-1,40476	1,30527	-4,01480	1,20528
	No se asumen varianzas iguales			-1,069	39,440	0,291	-1,40476	1,31358	-4,06079	1,25127

Tabla 23. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T-Student de la intensidad emocional relativo a la edad

EDAD		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
INTENSIDADEMOCIONAL1	Se asumen varianzas iguales	0,837	0,364	-0,078	61	0,938	-0,08788	1,12991	-2,34728	2,17153
	No se asumen varianzas iguales			-0,079	60,281	0,938	-0,08788	1,11879	-2,32559	2,14983
INTENSIDADEMOCIONAL2	Se asumen varianzas iguales	0,615	0,436	-0,616	61	0,540	-0,75758	1,23078	-3,21867	1,70352
	No se asumen varianzas iguales			-0,619	60,958	0,538	-0,75758	1,22349	-3,20414	1,68898
INTENSIDADEMOCIONAL3	Se asumen varianzas iguales	0,994	0,323	0,154	61	0,878	0,20909	1,35464	-2,49968	2,91786
	No se asumen varianzas iguales			0,153	58,275	0,879	0,20909	1,36254	-2,51806	2,93624
INTENSIDADEMOCIONAL4	Se asumen varianzas iguales	0,000	0,986	-1,396	61	0,168	-1,45758	1,04379	-3,54476	0,62961
	No se asumen varianzas iguales			-1,400	60,890	0,167	-1,45758	1,04105	-3,53936	0,62421
INTENSIDADEMOCIONAL5	Se asumen varianzas iguales	0,728	0,397	0,632	61	0,530	0,77273	1,22227	-1,67135	3,21680
	No se asumen varianzas iguales			0,636	60,902	0,527	0,77273	1,21424	-1,65537	3,20082
INTENSIDADEMOCIONAL6	Se asumen varianzas iguales	0,035	0,852	-0,204	61	0,839	-0,24848	1,21916	-2,68635	2,18938
	No se asumen varianzas iguales			-0,204	60,285	0,839	-0,24848	1,21987	-2,68835	2,19138
INTENSIDADEMOCIONAL7	Se asumen varianzas iguales	2,131	0,150	-1,563	61	0,123	-1,90606	1,21948	-4,34455	0,53243
	No se asumen varianzas iguales			-1,580	60,015	0,119	-1,90606	1,20640	-4,31920	0,50708

Tabla 24. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T-Student de la respuesta adaptativa relativo a la visión

VISIÓN		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
R_ADAP_RECODIFICADA1	Se asumen varianzas iguales	1,264	0,265	-1,578	61	0,120	-1,14706	0,72677	-2,60032	0,30620
	No se asumen varianzas iguales			-1,546	52,275	0,128	-1,14706	0,74172	-2,63525	0,34113
R_ADAP_RECODIFICADA2	Se asumen varianzas iguales	0,463	0,499	1,060	61	0,293	0,70081	0,66136	-0,62166	2,02328
	No se asumen varianzas iguales			1,051	57,066	0,298	0,70081	0,66681	-0,63443	2,03605
R_ADAP_RECODIFICADA3	Se asumen varianzas iguales	0,336	0,564	1,795	61	0,078	1,27485	0,71012	-0,14512	2,69481
	No se asumen varianzas iguales			1,782	57,252	0,080	1,27485	0,71558	-0,15793	2,70763
R_ADAP_RECODIFICADA4	Se asumen varianzas iguales	1,668	0,201	1,777	61	0,081	1,25761	0,70776	-0,15765	2,67286
	No se asumen varianzas iguales			1,748	53,880	0,086	1,25761	0,71960	-0,18517	2,70039
R_ADAP_RECODIFICADA5	Se asumen varianzas iguales	0,372	0,544	1,256	60	0,214	0,87395	0,69574	-0,51773	2,26563
	No se asumen varianzas iguales			1,248	56,072	0,217	0,87395	0,70038	-0,52905	2,27695
R_ADAP_RECODIFICADA6	Se asumen varianzas iguales	0,078	0,782	1,675	61	0,099	1,16937	0,69805	-0,22647	2,56521
	No se asumen varianzas iguales			1,657	56,103	0,103	1,16937	0,70572	-0,24430	2,58304
R_ADAP_RECODIFICADA7	Se asumen varianzas iguales	1,115	0,295	0,913	61	0,365	0,61055	0,66882	-0,72684	1,94793
	No se asumen varianzas iguales			0,904	56,627	0,370	0,61055	0,67519	-0,74168	1,96278

Tabla 25. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T-Student de la respuesta adaptativa relativo a la audición

AUDICIÓN		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
R_ADAP_RECODIFICADA1	Se asumen varianzas iguales	0,001	0,981	0,034	61	0,973	0,03061	0,88891	-1,74688	1,80811
	No se asumen varianzas iguales			0,032	18,935	0,975	0,03061	0,96378	-1,98707	2,04830
R_ADAP_RECODIFICADA2	Se asumen varianzas iguales	0,936	0,337	0,204	61	0,839	0,16327	0,79988	-1,43620	1,76273
	No se asumen varianzas iguales			0,236	26,843	0,815	0,16327	0,69214	-1,25727	1,58380
R_ADAP_RECODIFICADA3	Se asumen varianzas iguales	0,001	0,973	0,597	61	0,552	0,52041	0,87100	-1,22127	2,26208
	No se asumen varianzas iguales			0,608	21,553	0,550	0,52041	0,85623	-1,25744	2,29826
R_ADAP_RECODIFICADA4	Se asumen varianzas iguales	0,678	0,413	1,933	61	0,058	1,63265	0,84472	-0,05647	3,32178
	No se asumen varianzas iguales			1,751	18,550	0,096	1,63265	0,93232	-0,32192	3,58723
R_ADAP_RECODIFICADA5	Se asumen varianzas iguales	0,523	0,472	0,511	60	0,611	0,43956	0,85978	-1,28025	2,15937
	No se asumen varianzas iguales			0,467	16,973	0,646	0,43956	0,94137	-1,54680	2,42592
R_ADAP_RECODIFICADA6	Se asumen varianzas iguales	0,010	0,919	-0,203	61	0,840	-0,17347	0,85563	-1,88440	1,53746
	No se asumen varianzas iguales			-0,207	21,601	0,838	-0,17347	0,83985	-1,91709	1,57015
R_ADAP_RECODIFICADA7	Se asumen varianzas iguales	0,045	0,833	1,255	61	0,214	1,00000	0,79708	-0,59385	2,59385
	No se asumen varianzas iguales			1,244	20,784	0,227	1,00000	0,80362	-0,67227	2,67227

Tabla 26. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T-Student de la respuesta adaptativa relativo al género

GÉNERO		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
R_ADAP_RECODIFICADA1	Se asumen varianzas iguales	0,942	0,335	-0,091	61	0,928	-0,07143	0,78390	-1,63894	1,49608
	No se asumen varianzas iguales			-0,098	48,409	0,923	-0,07143	0,73051	-1,53989	1,39703
R_ADAP_RECODIFICADA2	Se asumen varianzas iguales	0,386	0,537	0,169	61	0,867	0,11905	0,70551	-1,29170	1,52980
	No se asumen varianzas iguales			0,177	45,461	0,860	0,11905	0,67326	-1,23658	1,47468
R_ADAP_RECODIFICADA3	Se asumen varianzas iguales	0,336	0,564	-0,464	61	0,644	-0,35714	0,76904	-1,89493	1,18064
	No se asumen varianzas iguales			-0,467	40,605	0,643	-0,35714	0,76549	-1,90353	1,18925
R_ADAP_RECODIFICADA4	Se asumen varianzas iguales	4,571	0,037	0,062	61	0,951	0,04762	0,76742	-1,48694	1,58218
	No se asumen varianzas iguales			0,069	52,086	0,946	0,04762	0,69466	-1,34627	1,44151
R_ADAP_RECODIFICADA5	Se asumen varianzas iguales	6,476	0,014	-1,684	60	0,097	-1,21951	0,72422	-2,66817	0,22915
	No se asumen varianzas iguales			-1,943	57,329	0,057	-1,21951	0,62770	-2,47630	0,03727
R_ADAP_RECODIFICADA6	Se asumen varianzas iguales	1,610	0,209	-1,377	61	0,173	-1,02381	0,74338	-2,51028	0,46266
	No se asumen varianzas iguales			-1,502	50,468	0,139	-1,02381	0,68157	-2,39247	0,34485
R_ADAP_RECODIFICADA7	Se asumen varianzas iguales	0,176	0,676	-0,570	61	0,571	-0,40476	0,71008	-1,82465	1,01513
	No se asumen varianzas iguales			-0,568	39,775	0,573	-0,40476	0,71232	-1,84467	1,03515

Tabla 27. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T-Student de la respuesta adaptativa relativo a la edad

EDAD		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
R_ADAP_RECODIFICADA1	Se asumen varianzas iguales	1,254	0,267	-1,092	61	0,279	-0,80000	0,73284	-2,26540	0,66540
	No se asumen varianzas iguales			-1,081	55,870	0,284	-0,80000	0,74027	-2,28301	0,68301
R_ADAP_RECODIFICADA2	Se asumen varianzas iguales	0,212	0,647	0,419	61	0,677	0,27879	0,66511	-1,05119	1,60876
	No se asumen varianzas iguales			0,420	60,939	0,676	0,27879	0,66302	-1,04703	1,60461
R_ADAP_RECODIFICADA3	Se asumen varianzas iguales	0,379	0,541	1,662	61	0,102	1,18182	0,71124	-0,24040	2,60404
	No se asumen varianzas iguales			1,652	58,252	0,104	1,18182	0,71542	-0,25013	2,61376
R_ADAP_RECODIFICADA4	Se asumen varianzas iguales	0,553	0,460	1,319	61	0,192	0,94242	0,71426	-0,48582	2,37067
	No se asumen varianzas iguales			1,309	57,354	0,196	0,94242	0,71969	-0,49854	2,38338
R_ADAP_RECODIFICADA5	Se asumen varianzas iguales	0,553	0,460	1,081	60	0,284	0,75235	0,69624	-0,64034	2,14504
	No se asumen varianzas iguales			1,071	55,964	0,289	0,75235	0,70260	-0,65514	2,15984
R_ADAP_RECODIFICADA6	Se asumen varianzas iguales	0,367	0,547	1,209	61	0,231	0,85152	0,70409	-0,55641	2,25944
	No se asumen varianzas iguales			1,200	57,168	0,235	0,85152	0,70968	-0,56951	2,27254
R_ADAP_RECODIFICADA7	Se asumen varianzas iguales	2,154	0,147	1,781	61	0,080	1,16667	0,65520	-0,14348	2,47682
	No se asumen varianzas iguales			1,765	56,532	0,083	1,16667	0,66113	-0,15745	2,49078

Tabla 28. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T- del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la visión

VISIÓN		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
AUMENTO_S1	Se asumen varianzas iguales	7,001	0,011	2,173	57	0,034	1,662	0,765	0,130	3,194
	No se asumen varianzas iguales			2,277	49,297	0,027	1,662	0,730	0,195	3,129
AUMENTO_S2	Se asumen varianzas iguales	1,006	0,320	0,785	58	0,436	0,542	0,690	-0,840	1,924
	No se asumen varianzas iguales			0,798	57,877	0,428	0,542	0,680	-0,818	1,902
AUMENTO_S3	Se asumen varianzas iguales	6,217	0,016	2,802	57	0,007	2,289	0,817	0,653	3,926
	No se asumen varianzas iguales			2,924	51,087	0,005	2,289	0,783	0,717	3,861
AUMENTO_S4	Se asumen varianzas iguales	5,904	0,018	1,833	57	0,072	1,601	0,873	-0,148	3,350
	No se asumen varianzas iguales			1,900	53,382	0,063	1,601	0,842	-0,089	3,290
AUMENTO_S5	Se asumen varianzas iguales	1,110	0,296	2,046	58	0,045	1,380	0,675	0,030	2,731
	No se asumen varianzas iguales			2,100	57,830	0,040	1,380	0,657	0,064	2,697
AUMENTO_S6	Se asumen varianzas iguales	6,965	0,011	1,801	58	0,077	1,428	0,793	-0,160	3,015
	No se asumen varianzas iguales			1,916	48,581	0,061	1,428	0,745	-0,070	2,926
AUMENTO_S7	Se asumen varianzas iguales	0,189	0,665	0,772	57	0,443	0,564	0,730	-0,898	2,025
	No se asumen varianzas iguales			0,777	56,454	0,440	0,564	0,725	-0,889	2,016

Tabla 29. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T-Student del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la audición

AUDICIÓN		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
AUMENTO_S1	Se asumen varianzas iguales	2,485	0,120	1,549	57	0,127	1,414	0,913	-0,414	3,243
	No se asumen varianzas iguales			2,025	38,208	0,050	1,414	0,698	0,001	2,828
AUMENTO_S2	Se asumen varianzas iguales	0,251	0,618	-0,753	58	0,455	-0,612	0,812	-2,238	1,015
	No se asumen varianzas iguales			-0,674	18,549	0,509	-0,612	0,908	-2,515	1,292
AUMENTO_S3	Se asumen varianzas iguales	2,225	0,141	0,967	57	0,337	0,979	1,012	-1,048	3,007
	No se asumen varianzas iguales			1,214	34,428	0,233	0,979	0,806	-0,659	2,618
AUMENTO_S4	Se asumen varianzas iguales	1,513	0,224	0,619	57	0,539	0,649	1,049	-1,452	2,750
	No se asumen varianzas iguales			0,749	31,482	0,460	0,649	0,867	-1,118	2,417
AUMENTO_S5	Se asumen varianzas iguales	0,765	0,385	1,343	58	0,184	1,087	0,809	-0,533	2,707
	No se asumen varianzas iguales			1,590	29,460	0,123	1,087	0,684	-0,311	2,484
AUMENTO_S6	Se asumen varianzas iguales	2,691	0,106	1,390	58	0,170	1,311	0,943	-0,577	3,198
	No se asumen varianzas iguales			1,813	37,236	0,078	1,311	0,723	-0,154	2,775
AUMENTO_S7	Se asumen varianzas iguales	0,000	0,986	-0,483	57	0,631	-0,414	0,858	-2,131	1,303
	No se asumen varianzas iguales			-0,486	21,928	0,632	-0,414	0,853	-2,183	1,354

Tabla 30. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T-Student del incremento de la frecuencia cardíaca relativo al género

GÉNERO		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
AUMENTO_S1	Se asumen varianzas iguales	0,080	0,778	-0,245	57	0,807	-0,205	0,837	-1,882	1,472
	No se asumen varianzas iguales			-0,248	39,650	0,806	-0,205	0,828	-1,879	1,468
AUMENTO_S2	Se asumen varianzas iguales	1,261	0,266	-0,086	58	0,932	-0,062	0,724	-1,511	1,387
	No se asumen varianzas iguales			-0,092	49,869	0,927	-0,062	0,675	-1,417	1,293
AUMENTO_S3	Se asumen varianzas iguales	2,679	0,107	-1,358	57	0,180	-1,226	0,903	-3,033	0,582
	No se asumen varianzas iguales			-1,266	31,986	0,215	-1,226	0,968	-3,198	0,746
AUMENTO_S4	Se asumen varianzas iguales	0,036	0,851	-0,362	57	0,719	-0,342	0,945	-2,235	1,550
	No se asumen varianzas iguales			-0,365	39,336	0,717	-0,342	0,937	-2,237	1,552
AUMENTO_S5	Se asumen varianzas iguales	0,333	0,566	0,050	58	0,960	0,037	0,729	-1,422	1,495
	No se asumen varianzas iguales			0,053	48,176	0,958	0,037	0,688	-1,347	1,420
AUMENTO_S6	Se asumen varianzas iguales	1,454	0,233	-1,714	58	0,092	-1,421	0,829	-3,081	0,238
	No se asumen varianzas iguales			-1,498	28,617	0,145	-1,421	0,949	-3,363	0,521
AUMENTO_S7	Se asumen varianzas iguales	0,541	0,465	-0,791	57	0,432	-0,608	0,768	-2,146	0,930
	No se asumen varianzas iguales			-0,776	36,452	0,443	-0,608	0,783	-2,195	0,980

Tabla 31. Resultados del estudio de homoscedasticidad y de la prueba T-Student del incremento de la frecuencia cardíaca relativo a la edad

EDAD		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error	Intervalo de confianza (95%)	
									Inferior	Superior
AUMENTO_S1	Se asumen varianzas iguales	2,008	0,162	0,981	57	0,331	0,774	0,789	-0,806	2,355
	No se asumen varianzas iguales			1,013	54,636	0,316	0,774	0,765	-0,758	2,307
AUMENTO_S2	Se asumen varianzas iguales	0,743	0,392	1,385	58	0,171	0,946	0,683	-0,421	2,313
	No se asumen varianzas iguales			1,414	57,999	0,163	0,946	0,669	-0,394	2,286
AUMENTO_S3	Se asumen varianzas iguales	2,225	0,141	2,340	57	0,023	1,948	0,832	0,281	3,615
	No se asumen varianzas iguales			2,413	54,896	0,019	1,948	0,807	0,330	3,565
AUMENTO_S4	Se asumen varianzas iguales	0,980	0,326	1,266	57	0,210	1,123	0,886	-0,652	2,898
	No se asumen varianzas iguales			1,292	56,797	0,202	1,123	0,869	-0,618	2,863
AUMENTO_S5	Se asumen varianzas iguales	0,340	0,562	1,220	58	0,227	0,842	0,690	-0,539	2,223
	No se asumen varianzas iguales			1,243	57,966	0,219	0,842	0,677	-0,514	2,198
AUMENTO_S6	Se asumen varianzas iguales	0,008	0,927	0,514	58	0,609	0,418	0,813	-1,210	2,045
	No se asumen varianzas iguales			0,509	53,705	0,613	0,418	0,819	-1,226	2,061
AUMENTO_S7	Se asumen varianzas iguales	0,438	0,511	-0,069	57	0,945	-0,051	0,734	-1,520	1,418
	No se asumen varianzas iguales			-0,069	54,132	0,945	-0,051	0,737	-1,529	1,427

cuatro variables sociodemográficas (destacando los valores obtenidos en Visión y Género). Esto significa que existe una homogeneidad en las respuestas para los sujetos que constituyen ambos lados de cada una de dichas distinciones.

Para el sonido 6 (Stimulus3) en particular, los valores de homoscedasticidad



son especialmente elevados para las cuatro distinciones sociodemográficas. El único problema se encuentra para el sonido 5 (Stimulus7) en el estudio de Audición, donde el valor de error ha sido mayor al 5% permisible, por lo que no se cumple el supuesto de homoscedasticidad (no se asumen varianzas iguales).

En lo relativo a la respuesta adaptativa, se obtienen de igual manera, unos resultados muy positivos generalizados, destacando especialmente los valores arrojados por los sonidos 2 (MotorGear), 3 (RP1) y 6, y por las variables Visión y Audición. En este caso, se encuentra que los únicos problemas habidos están en el estudio de Género para los sonidos 4 (RP2) y 5, donde, de nuevo, no se cumple el supuesto de homoscedasticidad.

Por último, en lo que concierne al aumento de la frecuencia cardíaca, se encuentra un fenómeno bastante curioso, ya que los resultados obtenidos en este caso sí son generalmente positivos, excepto para la Visión (no se cumple el supuesto en los sonidos 1, 3 y 4). Habrá que esperar a analizar los datos arrojados por la prueba T – Student antes de llegar a ninguna conclusión. Cabe destacar los resultados especialmente elevados del sonido 7 (C1 Warning Sound).

Una vez que se ha finalizado el análisis del supuesto de homoscedasticidad, se pasa a analizar los datos de las tablas que corresponden a la prueba T – Student:

Como ya se ha expuesto anteriormente, de nuevo se busca unos valores de significación superiores al 0,05 (nivel de confianza del 95%), que de darse, supondrían la confirmación definitiva de la no discriminación poblacional, y por tanto de la no existencia de diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos respecto a las cuatro variables sociodemográficas a estudio respectivamente.

Empezando por la intensidad emocional, se obtienen valores positivos para todos los sonidos y para todas las variables discriminantes, con la excepción del sonido 6 en la distinción por género. El sonido 3 en cambio, ha arrojado valores de significación especialmente elevados de manera generalizada excepto para Visión. La variable Edad de igual manera, ha resultado consistentemente en los

valores más elevados para todos los sonidos de entre las cuatro distinciones sociodemográficas.

Si se pasa a la respuesta adaptativa, de nuevo se encuentran valores realmente altos en todas las situaciones, en este caso sin ninguna instancia en la que el error haya superado el 5%. El sonido 2 es el que ha arrojado los mejores números entre todas las variables. Aquí son las variables Audición y Género las que destacan por encima de las otras dos.

Posteriormente, se constatan los datos de la prueba de Levene al comprobar que los resultados obtenidos vuelven a ser sorprendentemente positivos para el aumento de la frecuencia cardíaca, de nuevo con la excepción de la Visión y del sonido 3 en general. Lo que se puede deducir de los números arrojados por este proceso en lo relativo a las pulsaciones, es que, aunque se haya demostrado que de momento dichos datos no son fiables y no pueden considerarse relevantes de ninguna manera, son muy consistentes (en su negatividad) entre ambos grupos para al menos tres de las cuatro variables sociodemográficas. Esto podría descartar las hipótesis anteriores de que quizá las pulsaciones no fuesen la mejor manera de obtener conclusiones y de que aparentemente no había correlación ninguna entre los sonidos y las pulsaciones, mientras que refuerza la hipótesis de que el fallo se encuentra en la forma de tomar o interpretar dichos datos de pulsaciones (se amplía este aspecto en el capítulo de conclusiones del trabajo).

Finalmente, para realizar otra comprobación final de la homogeneidad de la respuesta para ciertos sonidos, se procede a realizar un segundo estudio de medianas, esta vez discriminando por características sociodemográficas para evitar sesgos, ya que cabe recordar que la clasificación de medianas se realizó sobre los 63 participantes de la muestra sin ningún tipo de discriminación y podría no ser enteramente fiable.

Para realizar este estudio, se han tomado las siete variables llamadas SUMA_SX (su origen está explicado en el apartado 9.2), y se ha obtenido el valor mínimo y la mediana de cada sonido independientemente para cada población. Después se ha restado el valor mínimo a la mediana, obteniendo un valor



llamado Diferencia, que es el que se utilizará para considerar la positividad o negatividad de los sonidos. De la misma manera que los valores de las medianas son mejores cuanto menores sean, se usará el mismo criterio para los resultados de Diferencia. Los sonidos más homogéneos serán aquellos cuyos valores de Diferencia sean los menores (homogeneidad positiva) o mayores (homogeneidad negativa) para ambos colectivos. Los datos se muestran en la tabla 32.

Para Visión, los resultados positivos más homogéneos para ambos colectivos se encontrarán en los sonidos 2 (MotorGear) y 5 (Stimulus7), mientras que los más homogéneamente negativos se hallan en el sonido 4 (RP2).

Para Audición, hay multitud de resultados positivos homogéneos, principalmente en los sonidos 1 (InternalCombustion) y 2, mientras que los sonidos 3 (RP1) y 6 (Stimulus3) son los que arrojan resultados homogéneamente negativos. No es extraño que en este caso haya tantos sonidos positivamente en común, ya que los problemas de audición son pérdidas muy leves de esta, y es de suponer que por lo general las diferencias entre ambos colectivos no deberían ser muy grandes.

Para Género, el sonido más positivo es el 2, mientras que el más negativo es el sonido 3.

Para Edad, los sonidos 1 y 2 son los mejores, mientras que el sonido 3 es el que peores números arroja.

El hecho de que el sonido 1 diese tan buenos resultados en la primera clasificación, mientras que aquí solo ha destacado en dos de las cuatro variables discriminantes significa que hay un sesgo muy significativo hacia uno de los lados en ambas variables restantes. Según los datos, parecen ser Visión completa y Hombres.

En resumen, el sonido 2 parece ser universalmente el mejor en cuanto a homogeneidad de resultados, mientras que el sonido 3 parece ser el peor, excepto para Visión.

Tabla 32. Resultados del estudio de medianas con discriminación según características sociodemográficas.

SUMA_SX	Internal Combustion	Motor Gear	RP1	RP2	Stimulus7	Stimulus3	C1 Warning Sound
Mínimo Visión completa	12	16	17	17	19	14	12
Mediana V.C.	21,5	24,5	32	29	27,5	25	23,5
Diferencia V.C.	9,5	8,5	15	12	8,5	11	11,5
Mínimo Ceguera o Baja Visión	8	12	14	11	11	11	12
Mediana C./B.V.	21	22	27	26	24	23	23
Diferencia C./B.V.	13	10	13	15	12	12	11
Mínimo Audición completa	12	14	14	17	12	11	12
Mediana A.C.	21	22	30	28	27	24	23
Diferencia A.C.	9	8	16	11	15	13	11
Mínimo Problemas auditivos	12	14	17	20	19	15	19
Mediana P.A.	20,5	22	27	26	24	24	24
Diferencia P.A.	8,5	8	10	6	5	9	5
Mínimo Hombres	8	12	14	11	12	11	12
Mediana H.	20	21	29	27	27	24,5	22
Diferencia H.	12	9	15	16	15	13,5	10
Mínimo Mujeres	12	14	15	21	19	14	14
Mediana M.	22	24	28	28	24	23	25
Diferencia M.	10	10	13	7	5	9	11
Mínimo Junior	8	12	15	11	12	13	12
Mediana J.	19	21	29	27	27	24	21,5
Diferencia J.	11	9	14	16	15	11	9,5
Mínimo Senior	12	14	14	20	18	11	12
Mediana S.	21,5	24,5	27	28	25	24	24
Diferencia S.	9,5	10,5	13	8	7	13	12

9.4. EFECTO DE LOS SONIDOS EN LA RESPUESTA GALVÁNICA

Como ya se ha explicado en el apartado 6.3, la sudoración de la piel se ha tomado mediante dos electrodos conectados a los dedos índice y corazón de la mano izquierda, que a su vez iban conectados a una placa Arduino, y esta al ordenador (Figuras 15 y 16). También se ha expuesto previamente la forma que toma la gráfica de la conductancia de la piel en MATLAB (Figuras 19 y 21).

Pese a que se han tenido en cuenta varios estudios previos, incluyendo el [42], no se ha sido capaz de conseguir ninguna información significativa, ya que, como ha sido explicado en el apartado 6.3, las gráficas de conductancia han sido prácticamente planas para todos los sujetos, y no se ha podido establecer ninguna relación entre la sudoración y las sensaciones al escuchar los sonidos. Al igual que ocurre con las pulsaciones, volvemos a asumir que se debe a que hubo ciertas deficiencias a la hora de tomar y/o interpretar los datos.





10. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y FUTUROS ESTUDIOS

El objetivo principal de este proyecto es identificar el mejor sonido de entre los siete propuestos, para una variedad de criterios, que se han examinado en detalle. Antes de emitir veredictos, se realizará un compendio de los puntos flacos y fuertes de cada uno de ellos (sin tener en cuenta los resultados obtenidos para los análisis de la variación de la frecuencia cardíaca), y lo que todo ello significa:

- *InternalCombustion*: El sonido 1 consiguió las mejores puntuaciones en los tres apartados de la clasificación inicial por medianas (desagrado, intensidad emocional y respuesta adaptativa), así como buenos resultados en ambos estudios de normalidad (intensidad emocional y respuesta adaptativa); buenos en todos los estudios de independencia y bastante positivos en todos los estudios de homogeneidad, especialmente en las categorías Audición y Género. No hay ninguna métrica que haya arrojado valores negativos de los que habría que preocuparse, y aunque el segundo estudio de medianas ha demostrado que el sonido no es tan homogéneo en Visión y Género, sí lo es en gran medida en Audición y Edad.
- *MotorGear*: El sonido 2 consigue puntuaciones altas en cuanto a las primeras medianas en dos de los tres apartados (desagrado e intensidad emocional), mientras que no lo hace demasiado bien en la respuesta adaptativa. Lo mismo puede verse reflejado en el estudio de normalidad, donde la intensidad emocional arroja resultados bastante mejores que la respuesta adaptativa. Se tienen también resultados muy positivos en todos los estudios de independencia, y en los de homogeneidad (donde ha demostrado en el segundo estudio de medianas que es el mejor o segundo mejor para las cuatro variables discriminantes), en este caso especialmente en lo referente a la respuesta adaptativa. El hecho de que esta sea tan negativa en lo referente a normalidad y clasificación, y sin embargo sea positiva en cuanto a independencia y homogeneidad, indica que los resultados



negativos de los dos primeros estudios no son debidos al azar, y afectan de igual manera a los diferentes colectivos, individualmente de en qué lado se encuentren, lo que no es ideal para los objetivos del presente proyecto, ya que, incluso si los datos de las medianas fueran mejores, no podrían extrapolarse a poblaciones mayores. Sin embargo, el hecho de que los valores de intensidad emocional sean positivos indica que pese a que en principio este sonido no sirva como AVAS al no ser identificable como perteneciente a un vehículo, no es un sonido molesto y podría llegar a ser válido con modificaciones.

- *RP1*: El sonido 3 arroja unos valores negativos en las tres categorizaciones de las medianas (es desagradable, tiene un impacto emocional negativo y no es considerado peligroso y/o reconocible). Sin embargo, los resultados son positivos en todos los estudios de independencia y en el estudio de respuesta adaptativa de la normalidad y de la homoscedasticidad. Por otro lado, la intensidad emocional es negativa para la normalidad, pero muy positiva para la prueba T – Student (lo que indica que el sonido es considerado bastante molesto para los colectivos de ambos lados de las cuatro divisiones sociodemográficas). La conclusión es que los datos sí son extrapolables a poblaciones de mayor tamaño, al menos en lo relativo a la respuesta adaptativa, lo que en teoría es magnífico. Por desgracia, el segundo estudio de medianas confirma que es uno de los sonidos más homogéneamente molestos para todos los colectivos y no se identifica como AVAS.
- *RP2*: Con el sonido 4, la situación es opuesta a la del 2. Aquí es la respuesta adaptativa la que consigue grandes puntuaciones en lo relativo la clasificación de medianas, mientras que el desagrado y la intensidad emocional no lo hacen. En cuanto al resto de métricas, uno de los estudios de independencia (respuesta adaptativa) arroja unos valores un poco inferior, pero ambos estudios de normalidad dan resultados fantásticos, y los de T – Student también (con la excepción de Género en la respuesta adaptativa). Esto significa que, a diferencia de con el sonido 3, los sujetos sí identifican este como el de un AVAS



(pese a que el sonido se sigue considerando molesto), que este sentimiento puede extrapolarse a poblaciones más numerosas, y que afecta de igual manera a los miembros de los diversos colectivos a ambos lados de las variables discriminantes. El segundo estudio de medianas ha probado que para Visión es muy homogéneo negativamente, sin embargo, sí que es homogéneo positivamente para Audición.

- *Stimulus7*: El sonido 5, al igual que el 3, arroja valores bastante negativos en lo relativo a las clasificaciones de medianas, solo destacando ligeramente en desagrado, aunque de nuevo, al igual que pasaba con el sonido 3, si la mediana de la respuesta adaptativa fuese mejor, podría extrapolarse a poblaciones mayores, ya que para este sonido, los resultados de su prueba de normalidad son mejores que para ningún otro. Los valores obtenidos en los estudios de independencia son positivos. Cabe recordar que este sonido dio un extraño valor realmente negativo para Problemas auditivos en el estudio de homoscedasticidad de la intensidad emocional, y para el Género en el estudio de respuesta adaptativa del mismo supuesto, sin embargo, en el segundo estudio de medianas se ha obtenido una gran homogeneidad entre Visión completa/Ceguera o baja visión.
- *Stimulus3*: El sonido 6 parece ser muy semejante al 2 en términos de las reacciones que provoca. De nuevo se tienen puntuaciones positivas en las medianas de desagrado e intensidad emocional, y negativas para la respuesta adaptativa. Sin embargo, la gran diferencia radica en que si en el sonido 2, solo la intensidad emocional ofrecía buenos datos de normalidad mientras que la respuesta adaptativa era la que arrojaba buenos datos de homogeneidad, aquí ambas métricas son generalmente positivas para todos los estudios mencionados (especialmente homogeneidad), al igual que para el sonido 4. Esto significa que no solo el sonido afecta de igual manera a casi todos los distintos colectivos para las cuatro divisiones discriminantes (con la excepción de Visión, donde el segundo estudio de medianas ha demostrado una gran homogeneidad negativa), sino



que al ser extrapolable a poblaciones más numerosas, sería un buen sonido si la mediana de la Respuesta adaptativa fuese mejor. De la misma manera que ocurría con el 2, el hecho de que la mediana de la intensidad emocional sea positiva indica que pese a que en principio este sonido no sirva como AVAS al no ser identificable como perteneciente a un vehículo, no es un sonido molesto y también podría llegar a ser válido con alguna modificación.

- *C1 Warning Sound*: El sonido 7 arroja también los mismos resultados que el sonido 2 y el 6 en lo relativo a los datos de la clasificación de medianas, y los mismos datos que el sonido 3 en lo relativo a los estudios de normalidad (malos números para la intensidad emocional, buenos para la respuesta adaptativa). Al igual que el sonido 4, uno de los valores del estudio de independencia es inferior al resto (intensidad emocional). Finalmente, los datos de homoscedasticidad son excelentes (con especial hincapié en la muy positiva homogeneidad entre Audición completa/Problemas auditivos), solo ligeramente inferiores a los de los sonidos 2 y 6. La conclusión alcanzada es que los datos sí son extrapolables a poblaciones de mayor tamaño, al menos en lo relativo a la respuesta adaptativa, lo que sería excelente si los datos de las medianas fuesen mejores. Sin embargo, el hecho de que la intensidad emocional sea positiva, mientras que su normalidad no lo es, indica que el hecho de que el sonido no es considerado molesto no es extrapolable, y por tanto, no es enteramente fiable, y no puede considerarse como los sonidos 2 y 6.

Teniendo en cuenta todo lo aquí expuesto, se puede llegar a la conclusión de que el sonido 1 es el mejor desde casi todos los puntos de vista posibles. Era la conclusión esperada, ya que a fin de cuentas es un sonido que imita el de un vehículo de combustión interna, por lo que no es molesto, es muy identificable y afecta positivamente a todos los colectivos, aunque el último estudio de homogeneidad ha demostrado que a algunos más que a otros. En cuanto al resto de ellos, los sonidos 2, 6 y 7 no son inmediatamente identificables como sonidos de vehículos híbridos y eléctricos, pero no son considerados molestos y como ya



se ha dicho, con ligeras modificaciones probablemente puedan convertirse en grandes alternativas al 1, especialmente el 2, que demuestra ser el más homogéneo entre la gran mayoría de los colectivos sociodemográficos. El sonido 4 por el contrario, es un sonido muy molesto pero identificable como perteneciente a un vehículo, aunque también sufre de ciertos problemas de homogeneidad, por lo que también podría ser interesante explorar maneras de modificarlo. De lo que se puede estar seguros, y corroborando las primerísimas impresiones, es de que los sonidos 3 y 5 no destacan en apenas casi ninguna métrica, y en las que lo hacen es precisamente por su extrema negatividad, o en casos muy puntuales. No se recomienda ni su consideración como AVAS ni su uso en futuros estudios.

Finalmente, vale la pena señalar algunos aspectos a mejorar en cuanto a la muestra y al proceso, así como realizar recomendaciones para futuros estudios:

- Sería recomendable verificar y tener muy controlado el correcto ajuste de la instrumentación a lo largo de toda la prueba con cada sujeto, ya que por ejemplo el pulsioxímetro para medir la frecuencia cardíaca se apagaba de vez en cuando de manera súbita o dejaba de detectar el pulso del sujeto, lo que llevaba a la imposibilidad de tomar datos de ciertos participantes con exactitud, y es probablemente la principal causa de que dichos datos de pulsaciones hayan tenido que descartarse al final. De igual manera, también es recomendable verificar el correcto ajuste de las almohadillas que estaban en contacto con las huellas de los dedos, ya que se resecaaban y empezaban a funcionar incorrectamente, por lo que era necesario añadir gel conductivo cada tres o cuatro sujetos. Se recomienda adquirir un pulsioxímetro de mejor calidad y aplicar gel a los electrodos antes de cada prueba para asegurarse de conseguir resultados fiables. De la misma manera, se recomienda buscar más estudios anteriores que incorporen mediciones de pulsaciones y de sudoración, o al menos, estudios independientes sobre respuestas fisiológicas que pudiesen ayudar a interpretar los datos con otra perspectiva.
- Probablemente la mayor limitación sea el relativamente reducido

número de participantes para un estudio de estas características. La muestra ha sido de 63 sujetos (lo que significa que encontrar resultados estadísticamente significativos será una tarea complicada) y ciertos datos de varios de ellos no han podido ser usados por los problemas que se acaban de exponer. Es cierto que los valores del supuesto de normalidad de varios sujetos ofrecen resultados optimistas sobre el hecho de que podrían extrapolarse a poblaciones mayores, pero aun así, lo ideal sería poder comprobarlo con datos de más personas.

- Otro problema, relacionado con el punto anterior, es que el rango de edad de los sujetos sea también relativamente reducido. Es cierto que si solo se miran los datos de edad superficialmente, se ve que el participante más joven tiene 22 años y el más anciano 82, pero realmente solo hay cuatro personas cuya edad sea superior a 65 (según Tournier, Dommès y Cavallo [45], las personas mayores de 65 presentan una mayor incidencia en accidentes con vehículos involucrados). Este problema radica en el hecho de que los sujetos hayan sido elegidos mediante un muestreo no probabilístico (selección no aleatoria). Los sujetos que han participado en este estudio son en su gran mayoría jóvenes adultos y adultos de mediana edad. Es de suma importancia que en futuros estudios haya una gran cantidad de participantes de más de 65 años, al igual que participantes más jóvenes (adolescentes).
- De igual manera, y si se quieren extraer conclusiones realmente significativas y aplicables a toda la ciudadanía, las poblaciones masculina y femenina deberían estar más igualadas en número, ya que, en el presente estudio, solo un tercio de los participantes (21 de 63) eran mujeres.
- Por último, hay que señalar que se recomienda seguir realizando pruebas con diferentes sonidos fuera de los siete aquí estudiados, ya que ninguno de ellos ha sido un éxito absoluto en todas las categorías, y solo uno (InternalCombustion) ha sido mayoritariamente positivo.



11. BIBLIOGRAFÍA

[1] ClickKoala y Empírica Influentials and Research (2019). Los españoles y el medio ambiente. Click Koala.

Obtenido de: <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.

Obtenido de: http://www.congreso.es/public_oficiales/L14/CONG/BOCG/A/BOCG-14-A-19- 1.PDF

[3] Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, del 17 de noviembre del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

[4] 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.

[5] 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.

Obtenido de:

<http://gesdoc.isciii.es/gesdoccontroller?action=download&id=18/10/2016-72b28c0577>

[6] Lelong J, Michelet R. (2001). Passenger cars. Power unit and tyre-road noise, driving behaviour: what are the stakes? In: Proc. Internoise, The Hague; P. 135-8.

Obtenido de: <https://trid.trb.org/view/721017>



[7] 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.

Obtenido de:

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

[8] Regulation (EU) Nº 138/2017 of the Economic Commission for Europe of the United Nations – Uniform provisions concerning the approval of Quiet Road Transport Vehicles with regard to their reduced audibility.

Obtenido de: [https://eur-](https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42017X0071&from=EN)

[lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42017X0071&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42017X0071&from=EN)

[9] European Commission, Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council of the sound level of motor vehicle. COM (2011) 856.

Obtenido de: [https://eur-](https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0856:FIN:EN:PDF)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0856:FIN:EN:PDF](https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0856:FIN:EN:PDF)

[10] Japanese Automobile Standards Internationalization Centre (JASIC) (2009). A Study on Approach Warning Systems for Hybrid Vehicle in Motor Mode. 49th World Forum for Harmonization of Vehicle Regulation (WP.29) GRB Working Group on Noise. February 16–18, 2009. Document Number: GRB-49-10.

Obtenido de: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2009/wp29grb/ECE-TRANS-WP29-GRB-49-inf10e.pdf>

[11] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. Japanese Activities on Approaching Vehicle Audible System for HEVs and EVs. May 2010.

Obtenido de: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2010/wp29grb/QRTV-02-08e.pdf>

[12] Pedestrian Safety Enhancement Act of 2008, H.R. 5734, 110th Cong., 2nd Session (2008).

Obtenido de: <https://www.congress.gov/bill/110th-congress/house-bill/5734/text>



[13] Garay-Vega, L., Hastings, A., Pollard, J. K., Zuschlag, M., & Stearns, M. (2010). Quieter Cars and the Safety of Blind Pedestrians: Phase 1 (No. DOT HS 811 304). United States. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, DC, USA.

Obtenido de: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/9474>

[14] 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, USA.

Obtenido de: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/811204>

[15] Dalrymple, G. (2011). Federal motor vehicle safety standards. National Highway Traffic Safety Administration. Minimum sound requirements for hybrid and electric vehicles. 49 CFR Parts 571 and 585. Docket No. NHTSA-2011-0148. RIN 2127-AK93. USA.

Obtenido de: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/812347-minimumsoundrequirements.pdf>

[16] Wu, J., Austin, R., & Chen, C. L. (2011). Incidence rates of pedestrian and bicyclist crashes by hybrid electric passenger vehicles: an update, DOT HS 811 526, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, DC, USA.

Obtenido de: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/811526>

[17] eVADER Project. Seventh framework programme. Theme 7. Transport SST.2011.RTD-1 GA No. 285095. Electric vehicle alert for detection and emergency response. Workgroup 2, Tech. rep., European Commission; 2014.

Obtenido de: <https://evader-project.eu/>

[18] 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.

Obtenido de: <https://www.jstor.org/stable/26278217?seq=1>

[19] Poveda-Martínez, P., Peral-Orts, R., Campillo-Davo, N., Nescolarde-Selva, J., Lloret-Climent, M., & Ramis-Soriano, J. (2017). Study of the effectiveness of electric vehicle warning sounds depending on the urban environment. *Applied Acoustics*, 116, 317-328.

Obtenido de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X16303164>

[20] Campello, H., Campillo, N., Peral, R., & Velasco, E. (2014, September). Caracterización sonora experimental de un vehículo eléctrico. In *Proc XX Congreso Nacional De Ingeniería Mecánica*.

[21] Ramis, J., Poveda, P., Ivorra, S., Peral, R., Campillo, N., Sánchez, M., ... & Barrigón, J. M. STUDY AND ADEQUACY OF WARNING SOUNDS IN ELECTRIC VEHICLES.

[22] Poveda Martínez, P., Ramis Soriano, J., Ivorra, S., Peral Orts, R., Campillo, N., Sánchez, M., ... & Barrigón, J. M. Analysis and detectability in Urban Environments of AVAS for EVs and HEVs. In *Techniacustica 2015*. Valencia, Spain.

Obtenido de: http://sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/AAM-2_004_01.pdf

[23] Campello-Vicente, H., Peral-Orts, R., Campillo-Davo, N., & Velasco-Sanchez, E. (2017). The effect of electric vehicles on urban noise maps. *Applied Acoustics*, 116, 59-64.

Obtenido de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X16302845>

[24] Altinsoy, M. E., & Landgraf, J. (2014). Perceptibility of Vehicle Exterior Sounds. *ATZ worldwide*, 116(9), 60-65.

Obtenido de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s38311-014-0221-0>

[25] Wall-Emerson, R., Naghshineh, K., Hapeman, J., & 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.

Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3046409/>



[26] Kerber, S. (2006). The importance of vehicle exterior noise levels in urban traffic for pedestrian—vehicle interaction. *ATZ worldwide*, 108(7-8), 19-21.

Obtenido de: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1138494/file.pdf>

[27] Fleury, S., Jamet, É., Roussarie, V., Bosc, L., & Chamard, J. C. (2016). Effect of additional warning sounds on pedestrians' detection of electric vehicles: An ecological approach. *Accident Analysis & Prevention*, 97, 176-185.

Obtenido de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457516303323>

[28] Parizet, E., Ellermeier, W., & Robart, R. (2014). Auditory warnings for electric vehicles: Detectability in normal-vision and visually impaired listeners. *Applied Acoustics*, 86, 50-58.

Obtenido de: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01026188/document>

[29] Misdariis, N., Gruson, A., & Susini, P. (2013, June). Detectability study of warning signals in urban background noises: a first step for designing the sound of electric vehicles. In *Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013* (Vol. 19, No. 1, p. 040032). Acoustical Society of America.

Obtenido de: <https://asa.scitation.org/doi/pdf/10.1121/1.4799454>

[30] Yamauchi, K., Menzel, D., Fastl, H., Takada, M., Nagahata, K., & Iwamiya, S. I. (2011). Cross-cultural study on feasible sound levels of possible warning signals for quiet vehicles. In *Proc. INTERNOISE 2011, Osaka, Japan*.

Obtenido de: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1107342/file.pdf>

[31] Sandberg, U. (2012). Adding noise to quiet electric and hybrid vehicles: An electric issue. *Noise News International*, 20(2), 51-67.

Obtenido de:

<https://www.ingentaconnect.com/content/ince/nni/2012/00000020/00000002/art00001>



[32] Wogalter, M. S., Ornan, R. N., Lim, R. W., & Chipley, M. R. (2001, October). On the risk of quiet vehicles to pedestrians and drivers. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 45, No. 23, pp. 1685-1688). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Obtenido de:

https://www.researchgate.net/profile/Raymond_Lim3/publication/259953162_On_the_Risk_of_Quiet_Vehicles_to_Pedestrians_and_Drivers/links/0deec52eaf16f5944900000/On-the-Risk-of-Quiet-Vehicles-to-Pedestrians-and-Drivers.pdf

[33] Nyeste, P., & Wogalter, M. S. (2008, September). On adding sound to quiet vehicles. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 52, No. 21, pp. 1747-1750). Sage CA: Los Angeles, CA: Sage Publications.

Obtenido de:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.438.1047&rep=rep1&type=pdf>

[34] Fagerlönn, J., Sirkka, A., Lindberg, S., & Johnsson, R. (2018). Acoustic Vehicle Alerting Systems: Will they affect the acceptance of electric vehicles? In *Proceedings of the Audio Mostly 2018 on Sound in Immersion and Emotion* (pp. 1-7).

Obtenido de:

https://www.researchgate.net/profile/Johan_Fagerloenn2/publication/330282247_Acoustic_Vehicle_Alerting_Systems_Will_they_affect_the_acceptance_of_electric_vehicles/links/5d32566d299bf1995b397a7b/Acoustic-Vehicle-Alerting-Systems-Will-they-affect-the-acceptance-of-electric-vehicles.pdf

[35] Freitas, E., Mendonça, C., Santos, J. A., Murteira, C., & Ferreira, J. P. (2012). Traffic noise abatement: How different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(4), 321-326.

Obtenido de:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.713.2096&rep=rep1&type=pdf>



- [36] Quereda Gomis, D. (2020). Detectabilidad sonora en vehículos eléctricos. Trabajo de Fin de Grado EPSE- Universidad Miguel Hernández de Elche.
- [37] Bernhard, R., Wayson, R. L., Haddock, J., Neithalath, N., El-Aassar, A., Olek, J., ... & Weiss, W. J. (2005). An introduction to tire/pavement noise of asphalt pavement. *Institute of Safe, Quiet and Durable Highways, Purdue University*.
Obtenido de: <http://noisebarrierfacts.com/wp-content/uploads/2020/05/Etude-2005-An-introduction-to-tire-pavement-noise-of-asphalt-pavement.pdf>
- [38] Rassili, A., & Campillo-Davo, N. (2016). *NVH Analysis Techniques for Design and Optimisation of Hybrid and Electric Vehicles*. Shaker Verlag.
- [39] Delta SenseLab. Ectunes. Sonic Minds. Report: Warning sound samples. Working Group on Noise (GRB) Informal group on Quiet Road Transport Vehicles (QRTV) Working papers of the 6th informal meeting. Documents number: QRTV-06-07.
- [40] Mariano Chóliz (2005). Psicología de la emoción: el proceso emocional. Universidad de Valencia.
Obtenido de: <https://www.uv.es/choliz/Proceso%20emocional.pdf>
- [41] Regueiro, A. M. (). CONCEPTOS BÁSICOS: ¿QUE ES EL ESTRÉS Y CÓMO NOS AFECTA?
Obtenido de: <https://www.uma.es/media/files/tallerestr%C3%A9s.pdf>
- [42] Gallegos, X., & Torrija, F. J. T. (1983). Biorretroalimentación de la respuesta galvánica de la piel y entrenamiento en relajación: un estudio piloto. *Revista latinoamericana de psicología*, 15(1-2), 259-275.
Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/805/80515218.pdf>

[43] Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of behaviour therapy and experimental psychiatry*, 25(1), 49-59.

Obtenido de:

<https://www.axessresearch.com/sites/default/files/articles/AffectivePictureSystemSelfMeasurement.pdf>

[44] Bergman, P., Sköld, A., Västfjäll, D., & Fransson, N. (2009). Perceptual and emotional categorization of sound. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126(6), 3156-3167.

Obtenido de:

<https://pdfs.semanticscholar.org/bf7f/a4175e679c4b7fbb2442372321ac89b1cffa.pdf>

[45] Tournier, I., Dommès, A., & Cavallo, V. (2016). Review of safety and mobility issues among older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 91, 24–35.

Obtenido de:

[https://orbi.lu.uni.lu/bitstream/10993/25261/1/Review%20of%20safety%20and%20mobility%20issues%20among%20older%20pedestrians%20\(Tournier,%20Dommès,%20&%20Cavallo,%202016\).pdf](https://orbi.lu.uni.lu/bitstream/10993/25261/1/Review%20of%20safety%20and%20mobility%20issues%20among%20older%20pedestrians%20(Tournier,%20Dommès,%20&%20Cavallo,%202016).pdf)

[46] Sistema de transmisión con sus diferentes partes. Figura obtenida de:

<https://www.ro-des.com/mecanica/que-es-el-sistema-de-transmision/>

[47] Sistema de frenos de pinza. Figura obtenida de:

<https://www.f1enestadopuro.com/archivo-f1/tecnicas/sistema-de-frenado/>

[48] Componentes de un neumático. Figura obtenida de:

<https://costoporkilometro.blogspot.com/2016/04/conozcamos-algo-de-las-llantas-imagen.html>

[49] Esquema de un tubo de escape. Figura obtenida de:

<https://www.netvisa.com.mx/caravan-escape.htm>



[50] Flujo aerodinámico a través de un vehículo. Figura obtenida de:

<http://c2racing.blogspot.com/2016/05/>

