



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

– **TELECOM** ESCUELA
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Telecomunicación

Realización de audiometrías en laboratorio. Validación del
método utilizado según la normativa

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de
Telecomunicación

AUTOR/A: Potenciano Silvestre, David

Tutor/a: Castiñeira Ibáñez, Sergio

Cotutor/a: Bravo Plana-Sala, José María

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



Resumen

El ruido es un sonido desagradable que puede deteriorar el estado de salud del ser humano a corto, medio o largo plazo. La norma ISO 1999-90 recogida en la norma UNE-74023-91 estima la pérdida auditiva inducida por ruido en función de la edad y de los años de exposición. Esta norma ha sido modificada recientemente por lo que en este trabajo se van a revisar los cambios introducidos en la misma. A la vez, se propondrá un método para la realización de audiometrías en el laboratorio que será validado mediante la comparativa de los resultados obtenidos con una audiometría normalizada. Se analizarán así mismo, diferentes aplicaciones informáticas que existen en el mercado para la realización de audiometrías, para verificar si están dentro de la norma.

Resum

El soroll és un so desagradable que pot deteriorar l'estat de salut de l'ésser humà a curt, mitjà llarg termini. La norma ISO 1999-90 recollida en la norma UNE-74023-91 estima la pèrdua auditiva induïda per soroll en funció de l'edat i dels anys d'exposició. Aquesta norma ha sigut modificada recentment pel que en aquest treball es revisaran els canvis introduïts en aquesta. Alhora, es proposarà un mètode per a la realització d'audiometries en el laboratori que serà validat mitjançant la comparativa dels resultats obtinguts amb una audiometria normalitzada. S'analitzaran així mateix, diferents aplicacions informàtiques que existeixen en el mercat per a la realització d'audiometries, per a verificar si estan dins de la norma.

Abstract

Noise is an unpleasant sound that can deteriorate the state of health of human beings in the short, medium, or long term. The ISO 1999-90 standard contained in the UNE-74023-91 standard estimates noise-induced hearing loss as a function of age and years of exposure. This standard has recently been modified, so this paper will review the changes introduced in it. At the same time, a method for carrying out audiometry in the laboratory will be proposed, which will be validated by comparing the results obtained with standardised audiometry. Different computer applications available on the market for audiometry will also be analysed in order to verify whether they comply with the standard.



Índice general

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Psicoacústica y deterioro auditivo	5
1.1.1 Conceptos básicos	5
1.1.1.1 Fundamentos fisiológicos y anatómicos del sistema auditivo	5
1.1.1.2 Tipos de pérdida auditiva	6
1.1.2 Regulación.....	7
1.1.3 Normas ISO 1999-1990/2013.....	8
1.1.4 Importancia de la edad y hábitos	9
1.2 Audiometrías	10
1.2.1 Conceptos teóricos	11
1.2.1.1 Espectro audible y umbrales de audición.....	11
1.2.2 Tipos audiometría	12
1.2.3 Audiometría tonal	13
1.2.3.1 Equipamiento audiometría tonal normalizada.....	14
Capítulo 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	15
Capítulo 3. METODOLOGÍA.....	15
3.1 Realización del proyecto	15
3.2 Reparto de tareas	16
3.3 Distribución temporal.....	16
Capítulo 4. DESARROLLO Y RESULTADOS	17
4.1 Presentación del experimento	17
4.1.1 Softwares de ordenador utilizados	18
4.1.2 Softwares de aplicación móvil.....	20
4.2 Funcionamiento de los softwares presentados	23
4.3 Elección del software a utilizar.....	24
4.4 Elección de entorno y equipo óptimo.....	25
4.4.1 Entorno con menos contaminación acústica	26
4.4.2 Nuevos equipos.....	26
4.4.3 Descripción del set up de la prueba	27
4.5 Realización del testeo auditivo masivo	27
4.5.1 Establecimiento de la norma	28
4.5.2 Diario de las pruebas y principales inconvenientes.....	28
4.5.3 Introducción de encuesta	29
4.6 Interpretación de resultados.....	30
4.6.1 Resultados generales	31
4.6.2 Hábitos auditivos entre la juventud.....	31
4.7 Conclusiones y propuesta de trabajo futuro.....	33
Capítulo 5. Agradecimiento.....	34
Capítulo 6. Bibliografía	35



Capítulo 7. Listado de siglas	36
Capítulo 8. ANEXOS	38
8.1 Pruebas trabajo	38
8.2 Muestra de los encuestados	52

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 *Psicoacústica y deterioro auditivo.*

1.1.1 *Conceptos básicos*

La psicoacústica está dentro del campo de la psicofísica y se encarga de estudiar la relación entre las características físicas de unos estímulos sonoros con la respectiva respuesta de los seres humanos. Sus hallazgos provienen de la comparación estadística, de los resultados en los estudios que tienen como objetivo medir las reacciones subjetivas de los sujetos a los estímulos, con propiedades físicas cuantificadas. En este estudio nos centraremos en la relación existente entre el fenómeno físico “ruido” y cómo es percibido por el oído humano [1].

Normalmente el ruido produce pérdida auditiva, afectando a un número significativo de individuos en todo el mundo, lo cual genera un impacto considerable en su calidad de vida. La capacidad de detectar, diagnosticar y cuantificar con precisión la pérdida auditiva es fundamental para proporcionar un tratamiento adecuado y una intervención temprana. La herramienta más común de detección y diagnóstico es la audiometría.

1.1.1.1 *Fundamentos fisiológicos y anatómicos sistema auditivo*

El oído humano está compuesto por diferentes partes que trabajan juntas para permitirnos escuchar. Estas tres zonas son: oído externo, medio e interno [2].

El oído externo canaliza las ondas sonoras hacia el oído medio a través del pabellón y el conducto auditivo externo, llegando hasta la membrana timpánica y haciéndola vibrar con una frecuencia y una amplitud igual a la del sonido que percibe. A partir de aquí se transmiten las ondas sonoras al oído interno mediante el tímpano y tres huesecillos móviles (yunque, estribo y martillo) primero las ondas provocan un movimiento del martillo que se transmite al yunque y de éste al estribo. El estribo se encarga de transmitir las vibraciones a través de la ventana oval hacia la perilinfa del oído interno [3].

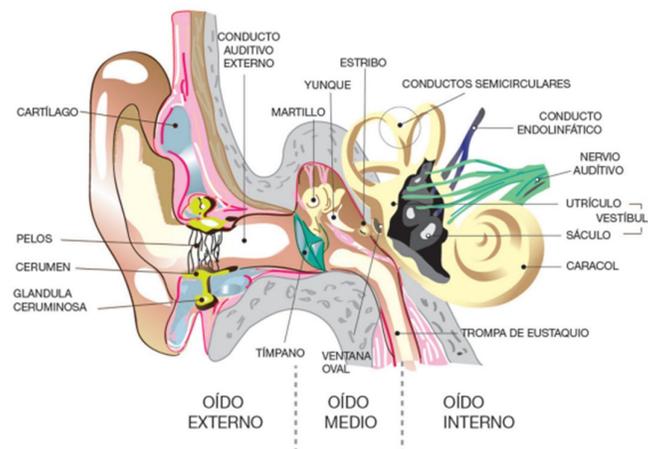


Figura 1 Esquema y partes del oído [4].

En el oído interno el cual podemos ver en la parte derecha de la Figura 1, se encuentran los órganos de audición y equilibrio. Es donde se produce la conversión de ondas mecánicas del sonido a ondas eléctricas. También se encarga del equilibrio, por lo que el daño que reciba se puede traducir tanto en pérdida auditiva como en la generación de mareos y pérdida de facultades físicas.

El proceso se lleva a cabo mediante el estribo el cual se mueve, creando ondas de presión en el líquido de la cóclea. Estas ondas viajan a lo largo de la cóclea (Figura 2) y estimulan las células ciliadas sensoriales que se encuentran en una estructura llamada membrana basilar (Figura 3).

Las células ciliadas externas amplifican y atenúan los sonidos, mientras que las células ciliadas internas son responsables de transmitir la información sonora al nervio auditivo. Cuando las ondas de presión llegan a las células ciliadas sensoriales, hacen que se muevan, generando señales eléctricas. Estas señales eléctricas se transmiten a través del nervio auditivo hasta diferentes regiones del tronco encefálico y el córtex auditivo en el cerebro, a su vez también generan patrones diferenciados, característicos de cada tono o frecuencia, por su punto de inserción.

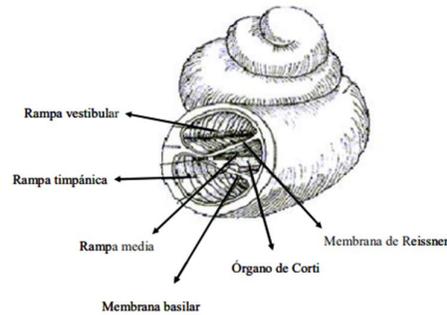


Figura 2 Cóclea o caracol [3].

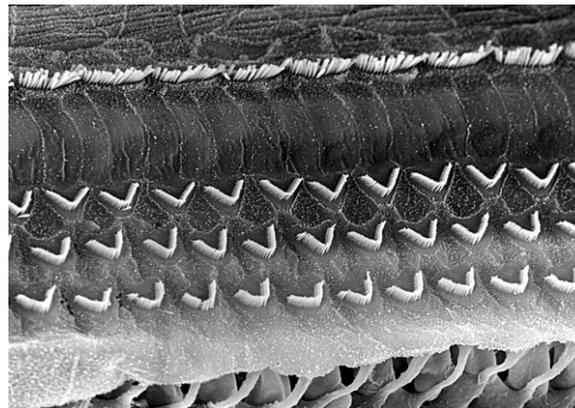


Figura 3 Disposición de las células ciliadas dentro de la membrana basilar [5].

También afectan en el equilibrio, los canales semicirculares y el aparato vestibular situado antes de la cóclea en la Figura 1. Sobre las células pilosas del vestíbulo se encuentran unos cristales de carbonato de calcio, conocidos en lenguaje técnico como otolitos y en lenguaje coloquial como arenilla del oído. Cuando la cabeza está inclinada, los otolitos cambian de posición y los pelos que se encuentran debajo responden al cambio de presión. Los ojos y ciertas células sensoriales de la piel y de tejidos internos también ayudan a mantener el equilibrio; pero, cuando el laberinto del oído está dañado o destruido, se producen problemas de equilibrio; pero, cuando el laberinto del oído está dañado o destruido, se producen problemas de equilibrio. Es posible que quien padezca una enfermedad o un problema en el oído interno no pueda mantenerse de pie con los ojos cerrados sin tambalearse o sin caerse [5].

1.1.1.2 Tipos de pérdida auditiva

Existen 3 tipos básicos de pérdida auditiva:

- **Pérdida auditiva conductiva:**

Pérdida auditiva causada por algo que impide que los sonidos pasen a través del oído externo o medio. Este tipo de pérdida auditiva suele tratarse con medicamentos o cirugía.

- **Pérdida neurosensorial:**

Pérdida auditiva que se produce cuando hay un problema en el funcionamiento del oído interno o del nervio auditivo.

- **Pérdida auditiva mixta:**

Pérdida que incluye tanto una pérdida auditiva conductiva como una neurosensorial.

Este trabajo se centra en la pérdida neurosensorial. Hay diversas formas de categorizar la hipoacusia o pérdidas auditivas, tomaremos como referencia según el grado de daño auditivo varios escenarios como vemos en la Tabla 1.

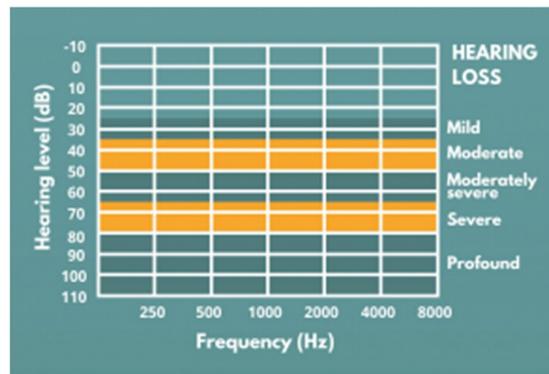


Tabla 1 Gráfica del tipo de pérdidas según el nivel mínimo de audición [6].

Pérdida de audición leve: Los sonidos más bajos que una persona puede oír con su mejor oído se sitúan entre 21 y 34 dB. Las personas con pérdida de audición leve no suelen tener dificultades para mantener conversaciones.

Pérdida auditiva moderada o discapacitante: Los sonidos más silenciosos que oyen las personas con su mejor oído se sitúan entre 35 y 49 dB. Las personas que sufren una pérdida auditiva moderada tienen problemas para oír en muchas situaciones y tendrán dificultades para seguir el ritmo de las conversaciones. Las personas con una pérdida auditiva moderada se beneficiarán del uso de audífonos.

Pérdida auditiva moderadamente severa: Los sonidos más bajos que oyen las personas con su mejor oído están entre 50 y 64 dB. Las personas que sufren una pérdida auditiva moderadamente severa tienen problemas para oír en la mayoría de las situaciones cuando no utilizan audífonos.

Pérdida auditiva severa: Los sonidos más silenciosos que oyen las personas con su mejor oído se sitúan entre 65 y 79 dB. Las personas que padecen una pérdida auditiva severa tienen mucha dificultad para oír y normalmente tendrán que utilizar audífonos potentes. A menudo también dependen de la lectura de labios incluso cuando utilizan audífonos.

Pérdida auditiva profunda: Los sonidos más silenciosos que oyen las personas con su mejor oído son de 80 dB o más. Las personas que padecen una pérdida auditiva profunda tienen un sentido del oído muy débil y necesitan audífonos o implantes muy potentes; muchas también dependen de la lectura de labios y/o del lenguaje de signos [6].



Todas estas categorías se definen normalmente utilizando una media audiométrica medida de 500, 1000, 2000 y 4000 Hz y pueden darse de manera unilateral o bilateral, o mixta cuando la pérdida auditiva es en un oído [6].

1.1.2 Regulación

El ruido, además de ser la causa más grave de la pérdida de capacidad auditiva, es uno de los factores más influyentes a la larga en la dificultad para escuchar. Este factor incide en mayor o menor medida en las personas con discapacidad auditiva así mismo la presencia del ruido dificulta considerablemente el derecho al descanso [7].

La regulación para la prevención del deterioro auditivo de los seres humanos se ha venido realizando desde principios del siglo XX. Los organismos internacionales han desempeñado un papel fundamental en la regulación y abordaje del deterioro auditivo, diferentes organismos han reconocido la importancia de proteger y promover la salud auditiva en la población mundial.

Uno de los hitos más significativos fue la creación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1948, la cual ha dedicado esfuerzos continuos para abordar los problemas relacionados con la audición y la pérdida auditiva. La OMS ha desarrollado directrices y estrategias para la prevención, diagnóstico y tratamiento de la pérdida auditiva, así como para la promoción de la salud auditiva en diferentes países.

En 1997, la OMS lanzó el Programa de Prevención de la Sordera y Ceguera Evitables (PDSCE), con el objetivo de prevenir y controlar los principales trastornos de la audición y su visibilidad a nivel global. Este programa ha sido uno de los principales argumentos para la implementación de políticas y acciones a nivel nacional y regional para abordar el deterioro auditivo.

Además de la OMS, otros organismos internacionales como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT) también han desempeñado un papel importante en la regulación del deterioro auditivo. Estos organismos han establecido normas y recomendaciones relacionadas con la exposición a ruidos y la protección auditiva en el entorno laboral y en el uso de dispositivos para prevenir la pérdida auditiva.

Uno de los organismos más destacados en este campo es la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés). La norma ISO 1999, titulada "*Acoustics - Estimation of noise-induced hearing loss*", es una norma internacional que proporciona directrices para estimar la pérdida auditiva inducida por el ruido según factores como grupos de edad, años expuestos al ruido y nivel de ruido en cada uno de estos. La norma establece criterios y métodos que nos permiten evaluar los efectos del ruido en la audición humana. Su objetivo es servir de base para la protección auditiva y la prevención de la pérdida de audición en diversas situaciones laborales y de ocio. La norma ISO 1999 fue creada y actualizada por expertos en los campos de la audición y la salud laboral, los organismos reguladores y las organizaciones pueden establecer límites de exposición aceptables y tomar medidas para proteger la audición de las personas mediante la adhesión a los criterios de la norma ISO 1999 [8].

1.1.3 Normas ISO 1999/1990 y 2013

Ya que, las medidas que se tomaron para realizar la ISO 1999 tanto en 1990 como en 2013 fueron las de un grupo de trabajadores de mediados del siglo XX sometidos a un ruido regular y gaussiano. Ninguna de las normas ISO 1999 contempla la presencia de ruidos impulsivos o sonidos no gaussianos, concepto que toma el nombre de curtosis, identificado con la representación matemática en un número de la cantidad de impulsos o sonidos fuera de lo gaussiano. Mientras que en estudios recientes [11] contemplan la presencia de sonidos no gaussianos a la hora de calcular el deterioro auditivo con respecto a la normativa.

Pese a no estar tan actualizada la norma ISO 1999:2013 introduce algunas novedades frente a la de 1999, destacando:

- 1 La inclusión de la evaluación de frecuencias más bajas y altas en la medición de la exposición al ruido. Esto es importante porque los ruidos de baja frecuencia, como los generados por maquinarias pesadas o el tráfico vehicular, pueden ser muy dañinos para la audición y no estaban cubiertos en la versión anterior de la norma. También se añadieron los de alta frecuencia identificados en cierta maquinaria y silbidos por las mismas razones.
- 2 El método de cálculo que utiliza. En la versión anterior, el método de cálculo se basaba en la exposición máxima al ruido, lo que no permitía evaluar la exposición al ruido en un periodo de tiempo prolongado. En la nueva versión, se incluye el cálculo de la dosis diaria de ruido, lo que permite una evaluación más precisa y realista de la exposición al ruido en un periodo prolongado de tiempo.
- 3 La inclusión de criterios de evaluación que tienen en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas audiométricas.
- 4 Por último, los valores límite para la exposición al ruido se han actualizado en la ISO 1999:2013 para tener en cuenta los últimos avances en la investigación sobre los efectos del ruido en la audición. Esto significa que los niveles de presión sonora máxima a los que una persona puede estar expuesta sin sufrir daño auditivo se han actualizado para reflejar una mejor comprensión de los efectos del ruido en la audición [8].

1.1.4 *Importancia de la edad y hábitos*

Más de 1000 millones de personas de edades comprendidas entre los 12 y los 35 años corren el riesgo de perder la audición debido a la exposición prolongada y excesiva a música fuerte y otros sonidos recreativos, lo que puede acarrear consecuencias devastadoras para su salud física y mental, educación y perspectivas de empleo. Más del 5% de la población mundial, es decir, 430 millones de personas, necesita rehabilitación para tratar su pérdida de audición discapacitante (432 millones de adultos y 34 millones de niños) [9]. Se calcula que en 2050 más de 700 millones de personas, es decir, 1 de cada 10, sufrirá una pérdida de audición discapacitante.

Por pérdida auditiva "discapacitante" se entiende la pérdida de audición superior a 35 decibelios (dB) en el oído que oye mejor. Casi el 80% de las personas con pérdida de audición discapacitante viven en países de ingresos bajos y medios. La pérdida de audición aumenta considerablemente con la edad, a los 60 más del 25% padece de pérdida de audición discapacitante

Nivel de ruido continuo equivalente dB(A)	AÑOS DE EXPOSICIÓN								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	1	3	5	6	7	8	9	10	7
90	4	10	14	16	16	18	20	21	15
95	7	17	24	28	29	31	32	29	23
100	12	29	37	42	43	44	44	41	33
105	18	42	53	58	60	62	61	54	41
110	26	55	71	78	78	77	72	62	45
115	36	71	83	87	84	81	75	64	47

Tabla 2 Daño auditivo sufrido por un trabajador según los años de exposición a ruido [9].

«Millones de adolescentes y jóvenes corren el riesgo de sufrir pérdida de audición debido al uso inapropiado de dispositivos de audio personales y a la exposición a niveles de sonido nocivos en lugares como clubes nocturnos, bares, conciertos y eventos deportivos», señala la Dra. Bente Mikkelsen, directora del Departamento de Enfermedades No Transmisibles de la OMS [9]. Como vemos en la tabla 2 los años y el nivel de exposición al ruido que se vean sometidos los sujetos determina su pérdida de audición.

Y añade: «El riesgo se intensifica porque la mayoría de los dispositivos de audio, lugares y eventos de entretenimiento no ofrecen opciones de escucha seguras y contribuyen al riesgo de pérdida de audición. Por ello, la nueva norma de la OMS tiene por objeto ofrecer mejores salvaguardias a los jóvenes en sus actividades de ocio» [9].

La Norma mundial para la escucha segura en lugares y eventos de entretenimiento establece seis recomendaciones para garantizar una experiencia auditiva agradable sin comprometer la calidad del sonido y reducir el riesgo de pérdida de audición. Estas recomendaciones incluyen:

- Limitar el nivel sonoro medio máximo a 100 decibelios
- Monitorear constantemente los niveles sonoros
- Optimizar la acústica y los sistemas de sonido de la sala
- Proporcionar protección auditiva personal al público además de ofrecer zonas silenciosas.[9]

La norma se basa en la iniciativa de la OMS “*Escuchar sin riesgos*” y busca mejorar las prácticas de escucha, especialmente entre los jóvenes. Además, se destaca la importancia de que los jóvenes mantengan bajos los volúmenes en dispositivos personales, utilicen auriculares adecuados, protejan sus oídos en lugares ruidosos y realicen chequeos de audición regulares para proteger su audición.

1.2 *Audiometrías*

La audiometría se basa en la medición de los umbrales auditivos y la capacidad de detectar diferentes frecuencias y niveles de sonido por parte de la persona sometida a la prueba. Se revisarán las diferentes técnicas de audiometría, desde la audiometría tonal convencional hasta la audiometría de emisiones otoacústicas. Además, se abordarán las consideraciones metodológicas y los estándares internacionales para asegurar la precisión y fiabilidad de los resultados.

La normalización de la audiometría es esencial para establecer criterios claros de evaluación y comparación de resultados entre diferentes profesionales y entornos clínicos. Se examinarán los esfuerzos actuales para estandarizar los procedimientos de audiometría, incluyendo la calibración de equipos, la elección de estímulos y la interpretación de los resultados.

Para el correcto procedimiento de la prueba, habría que preguntarse si es mejor opción la audición monoaural o la binaural. Con un campo audible mínimo, ambos oídos son capaces de detectar los estímulos, pero con una presión audible mínima, sólo un oído es capaz de detectar los estímulos. La audición binaural es más sensible que la monoaural ya que se aprovecha del concepto de la tridimensionalidad en el sonido [10].

Los ruidos fisiológicos se oyen cuando el oído está ocluido por un auricular durante las mediciones de presión audible mínima [10]. Cuando el oído está tapado, el sujeto oye ruidos corporales, como los latidos del corazón, y éstos pueden tener un efecto de enmascaramiento.

El campo audible mínimo y la presión audible mínima son importantes a la hora de considerar cuestiones de calibración, y también ilustran que el oído humano es más sensible en el rango de 2-5 kHz [10].

1.2.1 *Conceptos teóricos*

Para poder diagnosticar estos grados de pérdida de audición es necesaria una prueba normalizada que nos de unos resultados interpretables. En 1922 el otorrinolaringólogo Dr. Edmund P. Fowler, y los físicos Dr. Harvey Fletcher y Robert Wegel de Western Electric Co. emplearon por primera vez la

frecuencia en intervalos de octava trazados a lo largo del eje x y la intensidad en el eje y como grado de pérdida auditiva. Fletcher acuñó el término "audiograma" en esa época y, con los avances tecnológicos, la capacidad de realizar pruebas de conducción ósea se convirtió en un componente estándar de todos los audiómetros de Western Electric en 1928 [16].

En una publicación de 1922, Wegel publicó un gráfico del "área auditiva", es decir, el área entre el umbral de audibilidad y la sensación de "tacto" en toda la gama de frecuencias audibles. En la Figura 3 podemos ver recreado dicho gráfico histórico, la frecuencia se representaba horizontalmente en intervalos de octava aproximadamente iguales; la intensidad se representaba verticalmente en una escala logarítmica de cambio de nivel de presión sonora, que iba de 0,0001 a 10.000 dinas/cm² [12].

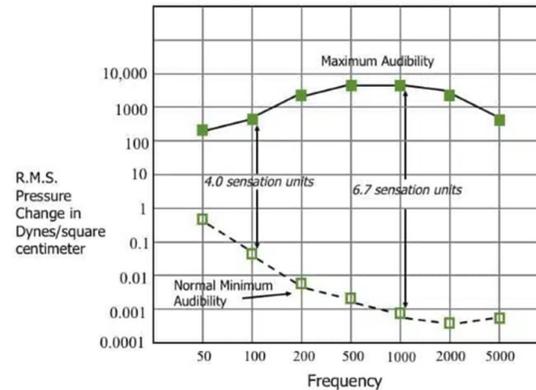


Figura 3 Cambios de presión en dinas/centímetro cuadrado [12].

La escala logarítmica de la intensidad del sonido ya estaba ampliamente aceptada en la década de 1920, sobre la base de los estudios anteriores de los grandes psicólogos alemanes Ernst Weber y Gustave Fechner. Los estudiosos de la audición estaban de acuerdo en que la dimensión "fuerza de la sensación" debía representarse logarítmicamente. Desde el punto de vista de científicos como Fletcher y Wegel, el nivel de presión sonora, expresado en dinas/cm², y aumentando logarítmicamente desde números pequeños en la parte inferior hasta números grandes en la parte superior [12]. Siendo una dina la unidad de fuerza en el sistema cegesimal que equivaldría a la fuerza necesaria para mover la masa de un gramo a razón de 1 centímetro por segundo cada segundo [13].

1.2.1.1 Espectro audible y umbrales de audición

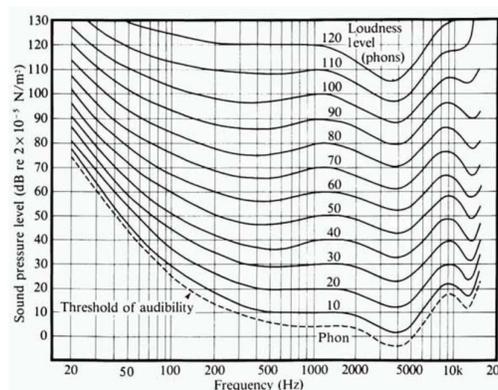


Figura 4 Curvas de Fletcher-Munson (1933) [1].

Se estableció el fonio (phon) como unidad de medida. Se trata de una unidad de característica logarítmica y adimensional (similar al decibelio) que representa la medida perceptual de la intensidad de un sonido.

Las ideas básicas que surgen del análisis de las curvas son:

- La máxima sensibilidad del oído se da en el intervalo de 3-4 kHz, como podemos ver en la Figura 4 con la gráfica del umbral de audición, creado por Fletcher-Munson en 1933. Estas frecuencias anteriormente mencionadas a su vez se relacionan con las resonancias del conducto auditivo del oído externo.
- El oído humano es poco sensible a bajas y altas frecuencias. La pérdida de sensibilidad a altas frecuencias se hace más relevante con la edad [1].

Este trabajo fue el inicio de otros muchos que daban curvas de características similares, “*of the equal loudness relations for pure tones*”. El cambio fundamental entre los dos trabajos se basa en la metodología experimental. En este trabajo los sujetos eran expuestos a tonos puros grabados y reproducidos en cámara anecoica, no usando auriculares [1].

Finalmente se estandarizó a nivel internacional las curvas en la ISO 226 “*Equal Loudness-Level Contour Signal*” [1].

Si se estudia con atención la Figura 4, se observa que las pendientes de las curvas de sonoridad difieren cuando se refieren a niveles bajos (gran pendiente) de cuando los niveles son más elevados (la pendiente se reduce). Así se crean varias ponderaciones de frecuencia, adaptándolas al valor de nivel de presión medido, estas son:

La ponderación A(dBA) cuya curva se creó pensando en aplicarla en valores de bajo nivel de presión sonora. Sin embargo, su uso se ha generalizado por adaptarse mejor que la ponderación B a la respuesta del oído humano tanto para bajos niveles como para niveles medios.

La ponderación B(dBB) ha quedado en desuso por la generalización de la ponderación A, siendo empleada para mediciones de forma puntual en usos con carácter musical.

La ponderación C(dBC) al igual que la ponderación A sigue aproximadamente la curva de igual sonoridad de 40 fonios, la ponderación C utiliza la curva de 100 fonios para ajustarse. Se centra en los sonidos de alto nivel de presión acústica.

La ponderación D(dBD) es desarrollada para la medición de ruido de aviones de alto nivel, especialmente para aviación militar. No está en uso desde la norma estándar internacional IEC 61672:2003. Más tarde la normativa ISO recomendaba el uso de la ponderación A para la medición de ruido en aviación comercial.

La ponderación frecuencial Z(dB) se crea para normalizar la ponderación lineal (la no ponderación), se creó con el objetivo de reducir la variabilidad detectada en la fabricación de instrumental acústico en relación con los valores de corte en cuanto al espectro sonoro. Queda definida en la norma estándar internacional IEC 61672:2003 [1].

1.2.2 Tipos de audiometría

La Sociedad Española de Audiología (SEA) reconoce y utiliza las siguientes categorías de exámenes y evaluaciones audiológicas [14][15].

- **Audiometría tonal:** Examina los umbrales de audición para tonos no distorsionados a varias frecuencias. Esta prueba permite determinar la audición en diversas regiones cocleares, así como la severidad y el patrón de pérdida auditiva [14].
- **La logaudiometría (Speech audiometry):** Evalúa la comprensión y el reconocimiento del habla. Se utilizan diferentes pruebas para evaluar la capacidad de una persona para comprender el habla en diversas circunstancias auditivas, como la evaluación del umbral de reconocimiento del habla y el porcentaje de palabras reconocidas [14][15].

También en la Figura 5 podemos observar cómo Fletcher y Steinberg tuvieron en cuenta filtros de paso

bajo y paso alto en la sonoridad del habla como parte de su estudio [16].

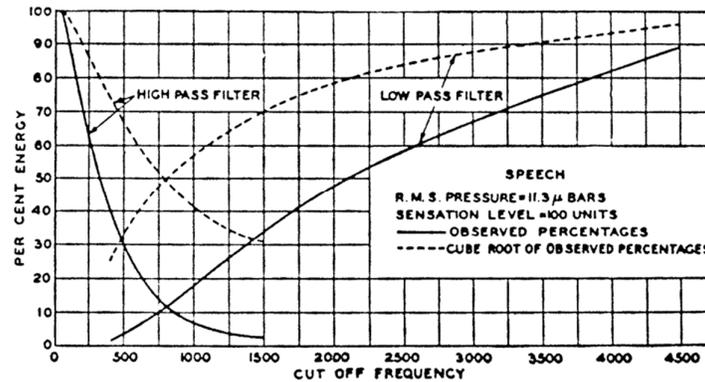


Figura 5 Efecto del filtrado de paso bajo y alto en la sonoridad del habla [16].

- **La timpanometría y los reflejos acústicos:** Son dos ejemplos de pruebas de imitación que evalúan la salud del oído medio. Los reflejos acústicos miden la movilidad de la membrana timpánica, mientras que la timpanometría ofrece información sobre el movimiento de la membrana y las reacciones automáticas de los músculos del oído medio a la entrada de sonido [14][15].
- **Emisiones otoacústicas:** Esta prueba evalúa la capacidad de la cóclea para producir respuestas sonoras. Las otoemisiones acústicas espontáneas (SOAE) por sus siglas en inglés, las otoemisiones acústicas provocadas por transitorios (TEOAE) y las otoemisiones acústicas provocadas por distorsión (DPOAE) son algunas de las diferentes formas de otoemisiones acústicas que pueden reconocerse.

Este tipo de prueba representa el método más práctico para evaluar a los recién nacidos y niños pequeños porque:

- El niño no requiere de una reacción relacionada con la conducta.
- Es rápido e indoloro y puede ayudar a detectar faltas de audición neurosensoriales y señalar trastornos auditivos que afectan la vía hacia el oído interno.
- No requiere de personal cualificado para realizarla, un mínimo de buen trato con infantes y un entrenamiento para la utilización del equipo serían suficientes.

Estos dos últimos tipos de audiometría no se desarrollarán más en este documento debido a las limitaciones de equipamiento, su focalización en el campo médico y un diagnóstico mucho más específico.

1.2.3 Audiometría tonal

Como hemos dicho anteriormente, en este estudio nos vamos a centrar en la audiometría tonal la cual podemos identificar como una prueba clave en la evaluación de la audición que se centra en averiguar los umbrales auditivos de una persona para tonos distintos en varias frecuencias.

Para transmitir el sonido al oído del paciente, primero se emplea un audiómetro, una máquina que sólo emite tonos puros. Para reducir las molestias del ruido exterior, el examen se realiza en una cabina insonorizada. Durante la prueba, se pide al paciente que responda a tonos de frecuencias variables moviendo un botón o levantando la mano para indicar que ha oído el sonido. El volumen de los tonos se hace audible al principio y se va bajando gradualmente hasta que el paciente es incapaz de oírlos, luego se plasma en un AM, que representa la audición del paciente en función de la frecuencia y la intensidad.

La forma más popular de audiometría tonal sigue un proceso establecido. Para garantizar la exactitud de los niveles sonoros mostrados, primero hay que calibrar el audiómetro. A continuación, se describe el funcionamiento al paciente y se le colocan los auriculares adecuados, se realizarán pruebas utilizando diversas frecuencias de tono, comenzando normalmente con tonos con una frecuencia de 1.000 Hz. El umbral de audición se calcula utilizando un patrón ascendente y descendente, y los resultados se anotan en el AM. Las frecuencias que se suelen probar son 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz, 4.000 Hz y 8.000 Hz. La audiometría tonal proporciona información precisa sobre la audición de una persona, tomando gran importancia en el diagnóstico de la pérdida auditiva, así como para la elección e instalación de audífonos [14].

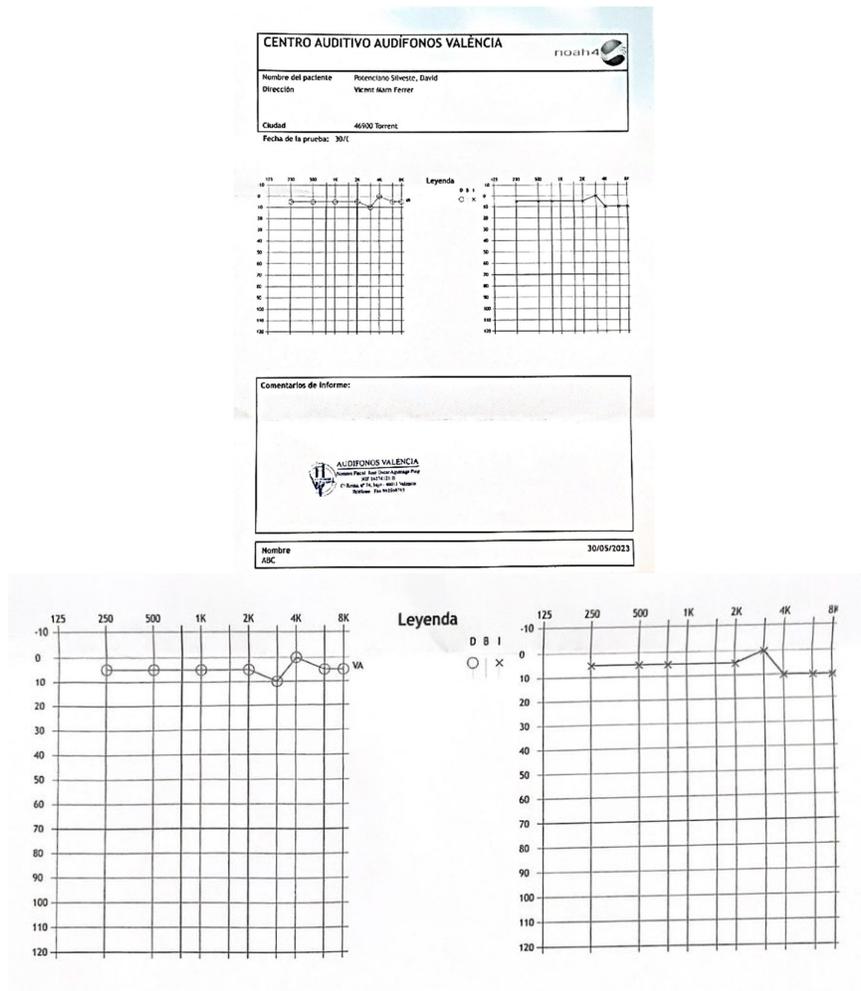


Figura 6 Audiometría tonal normalizada.

Como parte del proceso de investigación del trabajo y para el posterior desarrollo se decidió realizar una audiometría tonal en un entorno controlado y de manera normalizada. Los resultados los podemos ver en la Figura 6, también podemos observar el centro donde se realizó la misma que fue en audífonos Valencia C/ de la Reina, 74, 46011 València, Valencia. Los expertos hicieron énfasis en la calibración del equipo una vez al año para garantizar la integridad de la prueba.

1.2.3.1 Equipamiento audiometría tonal normalizada



Figura 7 Equipamiento de audiometría controlada.

En la Figura 7 podemos ver los elementos principales que forman parte de una audiometría controlada y los que se utilizaron para la realización de la prueba que daría como resultado el AM de la Figura 6. Observamos la presencia de una cabina insonorizada la cual tiene las ventajas de una cámara anecoica. Donde el rango de frecuencias suele ser desde aproximadamente los 200 Hz a los 20 kHz, con una absorción superior al 95%. Hay que destacar que existen dificultades en las frecuencias más bajas a causa de la respuesta de los materiales absorbentes y de las dimensiones de la cámara [17].

En el caso de la cabina como en este tipo de salas, suelen tener unas paredes recubiertas con cuñas en forma de pirámide con la base apoyada sobre la pared, pero en menor escala utilizando unos materiales que absorben el sonido y aumentan la dispersión o difusión del escaso sonido que no es absorbido como la fibra de vidrio, lana de roca o espuma porosa [17].

A su vez los equipos que también podemos observar en la Figura 7 serían:

- En la imagen central colgados los Auriculares Tdh39 Dd45 De Alta Calidad los cuales se adaptaban al oído con un cierto nivel de presión el cual sería necesario para el correcto funcionamiento de la prueba.
- Encima de los auriculares podemos observar un pequeño mando que será presionado de una manera firme y durante una pequeña cantidad de tiempo cuando el sujeto escuchase el sonido correspondiente.
- En la última imagen podemos ver el audiómetro Harp Plus con impresora integrada Cat. IVT-10163 Marca Inventis, donde el experto correspondiente gestiona las señales que escuchará el sujeto bajo la prueba.



Capítulo 2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El propósito de este trabajo de fin de grado es explorar la audiometría como un procedimiento de evaluación esencial para el diagnóstico de la pérdida de audición y buscar la normalización del método para garantizar la precisión y la confiabilidad de los resultados obtenidos fuera del entorno médico. Se analizarán los avances en la audiometría estandarizada, incluyendo los avances en tecnología y técnicas de evaluación, así como la estandarización de los procedimientos y la interpretación de los resultados.

Además, utilizando los datos recopilados y el método de audiometría seleccionado en estas pruebas, se llegará a una conclusión significativa sobre la prevalencia y características de la pérdida de audición en la población joven o más concretamente la generación Z los nacidos entre 1997 y 2012 [18] y posterior comparación con respecto a la especificada en la norma.

Capítulo 3. METODOLOGÍA

3.1 Realización del proyecto

El desarrollo del proyecto consta de las siguientes fases:

- Durante la primera fase se ha procedido a la documentación, lectura y estudio de la normativa sobre la degradación auditiva vigente y toda la teoría física subyacente a ella. La fase se focalizó de manera remota, compatibilizando la investigación de artículos y normativas con la prueba de softwares de audiometrías.
- La segunda fase consiste en el aprendizaje del funcionamiento de una audiometría y la práctica de simulaciones con los softwares elegidos para la elección del más parecido a un diagnóstico médico para el posterior uso de está.
- La tercera fase es la integración de nuevos elementos y que implementen mejoras en las pruebas realizadas, así como la realización de encuestas que nos ayuden a sacar conclusiones más tarde sobre el deterioro auditivo en el grupo de población elegido.
- Como última fase, la extracción de conclusiones a raíz de las pruebas realizadas, comparando y buscando siempre el modelo óptimo.

De manera transversal a todas ellas, y hasta el último día de redacción, se ha ido actualizando la bibliografía, con la lectura de nuevos artículos publicados en esta línea de investigación.

3.2 Reparto de tareas

El presente TFG se puede dividir en las tareas siguientes:

1. Documentación y bibliografía.
2. Testeo de softwares de emulación.
3. Comparación y análisis de la normativa vigente.



4. Realización de audiometría médica.
5. Pruebas de los softwares.
6. Parametrización de los valores y elementos más importantes de cara a las pruebas generales.
7. Pruebas generales.
8. Análisis del resultado y posterior extracción de conclusiones.
9. Desarrollo memoria.

3.3 Distribución temporal

Las tareas anteriormente mostradas serán distribuidas en el diagrama temporal, que vemos en la Tabla 3, de forma en que las x se identificarán con las semanas de cada mes donde se realizaron.

Tarea	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1	xxxx				
2		xxxx			
3			xxxx		
4			xxxx	xx	xx
5				xxx	x
6				xx	xx
7				xx	xx
8				x	xxx
9			x	x	xx

Tabla 3 - Diagrama temporal de las tareas.

Capítulo 4. DESARROLLO Y RESULTADOS

4.1 Presentación del experimento

El diseño del experimento constará del desarrollo de una audiometría normalizada con el fin de extraer resultados fiables de las pruebas. Para ello se harán testeos con diferentes softwares, con una localización y un set up común, a poder ser dentro de la escuela técnica superior de ingenieros de telecomunicación en el camino de vera de la universidad politècnica de valencia.



Figura 8 Equipo disponible en el laboratorio de ingeniería acústica.

Como podemos observar en la Figura 8 en un principio las pruebas como base para la elección del software se harían con los auriculares facilitados por el departamento de física, los cuales son unos Auriculares Sennheiser HD 206 (especificaciones en la Tabla 4) y mediante el uso de los ordenadores también facilitados por el departamento de física los cuales poseían un reproductor de audio “**realtek audio hd**”.

Información Técnica
Color: plata
Respuesta de (audio) frecuencia (audífonos): 21 - 18.000 Hz
Nivel de presión del sonido (SPL) 108 dB (SPL)
THD, distorsión armónica total < 0,7 %
Acoplamiento al oído circumaural
Clavija hembra/receptáculo hembra 3,5/6,3 mm estéreo
Longitud del cable: 3 m
Principio del transductor dinámico, cerrado
Peso: 215 g
Impedancia nominal: 24 Ω
Peso sin cable: 165 g

Tabla 4 Especificaciones técnicas de los auriculares Sennheiser HD 206.

Un aspecto muy importante de todos los softwares y la principal diferencia con las pruebas realizadas en un ambiente médico sería la de la calibración. Ya que, al calibrar los auriculares, se ajusta su respuesta de frecuencia y nivel de salida para que sean consistentes y se correspondan con los estándares establecidos médicamente. Lo identificamos como una parte esencial para asegurar que los tonos puros y los estímulos auditivos se presenten de manera precisa y uniforme a lo largo de todo el rango audible. De ahí que destaquemos la calibración en todos y cada uno de los softwares que usemos para así obtener resultados precisos y confiables.

Utilizaremos al mismo sujeto en la calibración para todos los softwares en los que sea requerida ya que será la que más se ajuste al grupo de población que estudiaremos.

Los softwares que utilizaremos serán:

1. **Home audiometer, HA**
2. **Audiometr Project, AP**
3. **Ear test, ET**
4. **Mimi hearing test, MHT**
5. **Hearing Test-Tone Audiogram, HTAT**

4.1.1 Softwares de ordenador utilizados

- El primero “Home Audiometer” tiene en la descripción que encontramos en su web:

La prueba auditiva del home audiometer convierte su PC en una máquina que puede probar su audición en casa a través de auriculares estándar. Esta prueba proporciona una muy buena indicación de si existe o no un problema de audición y de su gravedad, y es mucho más precisa que otras pruebas. Debido a la naturaleza de la calibración, cualquier prueba casera no puede ser tan precisa como una prueba de audición profesional en una clínica auditiva. La precisión de este audiómetro está dentro de los 10 dB del nivel de audición real, en comparación con los 5 dB de una prueba profesional. Esto es en un rango auditivo total medible de 70 dB. Características Procedimiento de prueba conforme a las normas ISO; HA es un software de Shareware en la categoría de Home & Hobby desarrollado por Timo Esser. La última versión de Home Audiometer es 2.2, aparecido en 01/01/2017. En la Figura 9 podemos observar el overlay de los resultados que obtenemos al realizar la prueba.



Figura 9 Imagen que encontramos en la web para la descarga de “home audiometer”.

- El siguiente es “Audiometr Project” de Zubek Electronics” descripción que encontramos en su web es:

La aplicación Audiometr sirve para evaluar el rendimiento de las personas con problemas de audición. Sin la necesidad de instrumentos caros, en casa se puede evaluar la pérdida de audición. La aplicación del método original de calibración de auriculares permite trazar el umbral de audición en relación con la audición "normal" utilizando auriculares de ordenador. El AM muestra si la persona evaluada tiene algún problema de audición (pérdida auditiva < 20dB). La aplicación también permite preparar las pruebas de audición necesarias para obtener diversos permisos (por ejemplo, el permiso de conducir profesional).

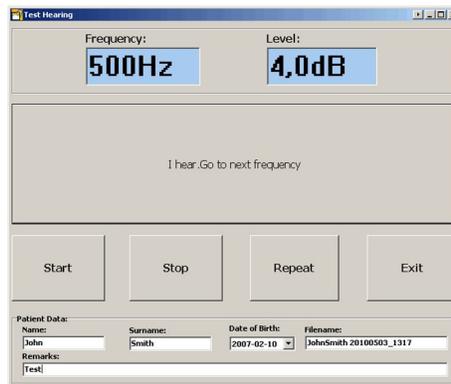


Figura 10 Overlay de la aplicación audiometr.

En la Figura 10 podemos ver la interfaz que nos aparece al ejecutar la aplicación y a diferencia de “home audiometer” observamos cómo van aumentando las frecuencias y un interfaz más claro en el tema de frecuencias y niveles ya que te los va mostrando a medida que se desarrolla la prueba.

- El software “Ear test” tiene lo siguiente en su web de descarga:

Ear Test es un pequeño programa que te permite comprobar qué frecuencias puedes oír. El programa es realmente sencillo: tienes una interfaz en la que puedes seleccionar si quieres comprobar el oído izquierdo o el derecho. Luego puedes seleccionar el volumen y la frecuencia. Cuando se inicie, se oír un sonido (o no, dependiendo de tu oído) de forma intermitente. Dependiendo de la frecuencia que vayas seleccionando y de los cambios de volumen, el programa dibujará un gráfico en la parte inferior, mostrando los resultados de la prueba.

Hay dos advertencias sobre el programa: una es que, debido a la falta de ajustes de calibración, no es tan preciso como una prueba médica. Esto se debe a las diferencias entre auriculares y tarjetas de audio. Como vemos en la Figura 11 en su interfaz tiene muy poca información y se centra en la emisión de frecuencias con diferentes volúmenes y en las dos orejas, sin ningún resultado ni gráfica de resultado.



Figura 11 Interfaz de Ear test.

4.1.2 Softwares de aplicación móvil utilizados

Se decidió incluir softwares de aplicaciones móviles ya que eran de una calidad similar y ofrecían la posibilidad de la elección del lugar donde se iba a realizar la prueba, así como la mayor accesibilidad al proceso ya que actualmente y más en el grupo de población a estudiar la totalidad poseen un smartphone. Mas abajo en la Tabla 5 se presentan los parámetros y problemas de salud que pueden controlarse mediante los actuales sensores integrados en los smartphones. Los datos que miden los sensores se pueden analizar y mostrarse en el teléfono y/o transmitirse a un centro o personal sanitarios distante para su posterior investigación a través de la comunicación móvil inalámbrica [19].

Se realizó un estudio que comprobó en el 2016 las mejores aplicaciones para el diagnóstico auditivo, unas 34 aplicaciones fueron probadas en el estudio, los resultados de esta revisión dieron como resultado:

Que no se puede recomendar que las aplicaciones de audiometría sustituyan a la audiometría de tonos puros de referencia realizada por un audiólogo. Sin embargo, a pesar de las escasas pruebas obtenidas en esta revisión, la portabilidad, accesibilidad, autoadministración y bajo coste de las aplicaciones de audiometría ofrecen una gran oportunidad para superar los principales obstáculos a la detección de enfermedades del oído y la audición en países de ingresos bajos y medios [20].

Monitored Health Issues	Typically Used Smartphone Sensors
Cardiovascular activity e.g., heart rate (HR) and HR variability (HRV)	Image sensor (camera), microphone
Eye health	Image sensor (camera)
Respiratory and lung health	Image sensor (camera), microphone
Skin health	Image sensor camera)
Daily activity and fall	Motion sensors (accelerometer, gyroscope, proximity sensor), Global positioning system (GPS)
Sleep	Motion sensors (accelerometer, gyroscope)
Ear health	Microphone

Tabla 5 Sensores de smartphones utilizados para monitorear la salud [19].

- La aplicación “**Mimi Hearing test**” tiene en la app store de iOS como descripción.

La MHT es la forma más sencilla de evaluar su capacidad auditiva. Esta prueba auditiva le dará resultados comprensibles en unos 6 minutos.

Proporcionamos resultados instantáneos que convierten sus datos auditivos en información tangible, lo que le permite reflexionar sobre su salud auditiva. Además, puede realizar un seguimiento de su audición y observar cómo ha cambiado a lo largo del tiempo. También puede exportar los resultados y compartirlos con amigos o profesionales de la salud mediante la impresión. Además, ofrecemos la opción de exportar a HealthKit, lo que le permite conectarse fácilmente desde la aplicación Salud y comparar sus resultados auditivos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que existen limitaciones en la evaluación auditiva y se recomienda consultar a un profesional de la salud para obtener una evaluación completa.

La aplicación Mimi está actualmente calibrada para Apple EarPods, Apple AirPods, Apple Air Pods Pro y Sennheiser HDA 200 y 300. La precisión de los resultados de la prueba dependerá del tipo de auriculares que utilice, así como del nivel de ruido ambiental. Los resultados que le ofrecemos son un primer paso para comprobar su capacidad auditiva. Consulte siempre a un profesional médico

En la Figura 12 podemos ver las especificaciones técnicas de la aplicación, el nombre de los desarrolladores, así como su valoración [21].

The screenshot shows the App Store page for 'Mimi hearing test'. On the left, the 'Information' section lists: Provider: Mimi Hearing Technologies GmbH, Size: 12.8 MB, Category: Health & Fitness, Compatibility: iPhone (Requires iOS 13.0 or later), iPod touch (Requires iOS 13.0 or later), Languages: English, French, German, Japanese, Korean, Russian, Simplified Chinese, Spanish, and Age Rating: 4+.

On the right, the 'Ratings and Reviews' section shows a 4.7 out of 5 star rating based on 23.4K ratings. A review from user 206Charlie206, dated 08/23/2022, states: 'Mimi mimics professionally performed aud... I have been followed by a professional audiologist for several years. My last audio gram was 6 months ago. While it was "mild-to-moderate" hearing loss that was stab [more](#)

Figura 12 Ficha técnica de Mimi hearing test [21].

- La segunda aplicación “**Hearing test –Audiometry Tone**” tiene como descripción en la app store de iOS:

Ofrece una representación gráfica de los resultados de las pruebas, así como una descripción en texto. Durante la prueba, se utilizan 8 señales de tono con diferentes frecuencias, que van desde 125 Hz hasta 8000 Hz. Los cambios auditivos se controlan mediante la comparación con resultados anteriores, y también se comparan los resultados con las normas correspondientes a la edad del individuo y con los resultados de otras personas. Los resultados de las pruebas pueden ser enviados por correo electrónico a un médico y también se pueden exportar para el ajuste automático de la aplicación Audífono Petalex. Además, la aplicación es compatible con HealthKit, lo que permite almacenar y leer el audiograma en la aplicación presente en todos los smartphones dedicada expresamente a la gestión de todos los aspectos relacionados con la salud del usuario para monitorear los cambios auditivos del usuario [22].

En la Figura 13 podemos ver las especificaciones técnicas de la aplicación, el nombre de los desarrolladores, así como su valoración [22].

The screenshot shows the App Store page for 'Hearing test –Audiometry Tone'. On the left, the 'Information' section lists: Provider: IT4YOU CORP., Size: 10.7 MB, Category: Health & Fitness, Compatibility: iPhone (Requires iOS 11.0 or later), iPod touch (Requires iOS 11.0 or later), Mac (Requires macOS 11.0 or later and a Mac with Apple M1 chip or later), Languages: English, Japanese, Lithuanian, Russian, Simplified Chinese, Spanish, and Age Rating: 4+.

On the right, the 'Ratings and Reviews' section shows a 3.3 out of 5 star rating based on 24 ratings. A review from user MacJoeS, dated 06/22/2022, states: 'Nice approach. While being fairly automated the app shows the user what is going on during the test, a nice touch [more](#)

Figura 13 Especificaciones técnicas de Hearing test –Audiometry Tone [22].

4.2 Funcionamiento de los softwares presentados

En cuanto a la elección del software que nos dé el resultado con más similitudes a la prueba audiológica médica realizada por el sujeto a estudiar, también se destacaran los puntos fuertes y débiles de cada programa probado en la investigación.

- **Home audiometer**

La aplicación “home audiometer” es una de las más dominante en el mercado y es la seleccionada por el profesor de la asignatura “acústica ambiental” para la realización de una audiometría en la práctica

cursada en la asignatura que trabajaba el tema de la psicoacústica. Su interfaz consiste en las dos gráficas, donde encontramos a las frecuencias en el eje x y el nivel del sonido que se reproduce en el eje y, previamente habiendo hecho la calibración para adecuar el procedimiento al equipamiento utilizado con la interfaz que vemos en la Figura 14 también podemos observar el resultado de la prueba una vez finalizada, apreciamos las gráficas anteriormente descritas actualizadas con las frecuencias que hemos realizado. Como podemos apreciar sigue la misma línea que la realizada en el ámbito médico (Figura 6) pero se desempeña demasiado bien en las frecuencias entre 1000 y 4000 Hz.

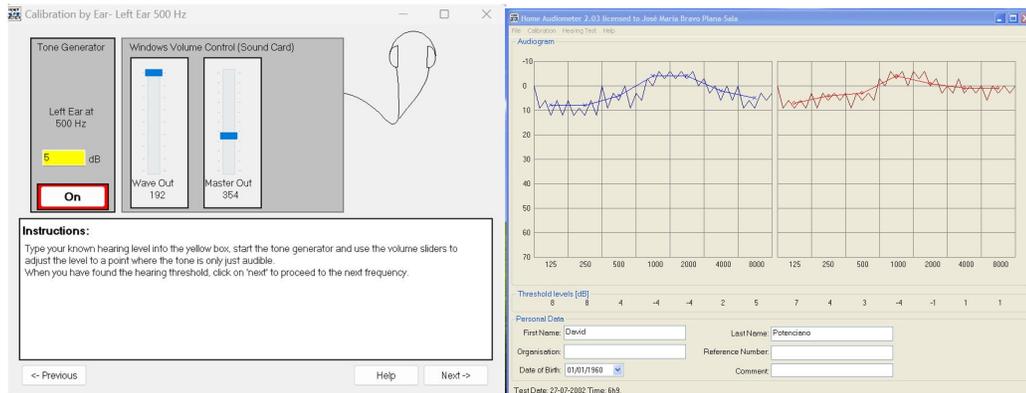


Figura 14 Ventana de calibración y resultado de audiometría en el programa “home audiometer”.

- **Audiometr**

En cuanto al uso del programa “Audiometr” venía limitada por la prueba gratuita que disfrutamos durante la totalidad de la investigación, las ventajas que se identificaron fueron las de una interfaz más profesional durante la prueba y no tanto en el resultado final como en la calibración con respecto al “home audiometer” pero con unos resultados más pobres y alejados de la prueba médica realizada, como podemos observar en la Figura 15.

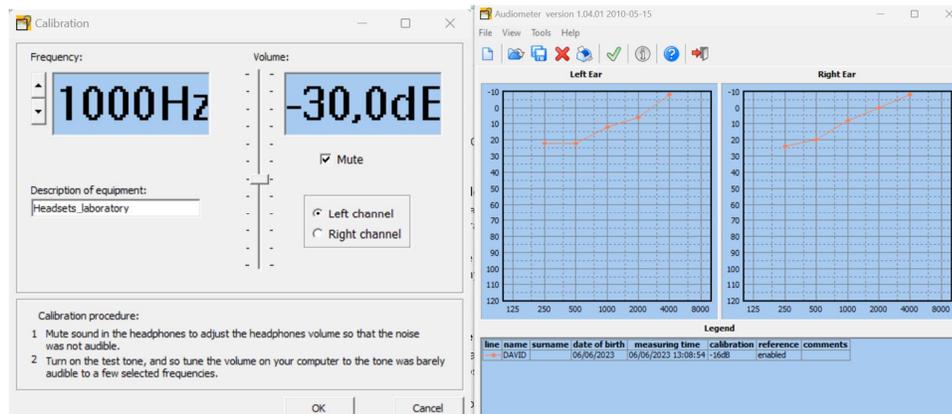


Figura 15 Ventana de calibración y resultado de audiometría en el programa “Audiometr”.

- **Ear test**

El software “Ear test” como vemos en la Figura 10 posee los elementos que encontramos comunes en los programas anteriormente testeados con una mayor libertad en la utilización de diferentes frecuencias y niveles de los tonos, por otro lado, una de sus deficiencias es la carencia de un apartado de resultados, así como la falta de gráficas normalizadas.

- **Hearing test –Audiometry Tone**

Los puntos fuertes de esta aplicación podríamos decir, la posibilidad de enlazarlo con el HealthKit de tu teléfono móvil por lo que hacer un seguimiento del estado de tu sistema auditivo se vuelve mucho más

fácil, a su vez los puntos fuertes comentados en el apartado 4.1.2 se mantienen presentes y los puntos débiles comentados en ese mismo apartado se ven mejorados considerablemente por la mejora en la tecnología de los últimos años desde la realización del estudio [20] en el 2016. Vemos alguna imagen de la interface de la aplicación en la Figura 16, se aprecia que los resultados no son tan distantes de la prueba oficial realizada en la Figura 6:

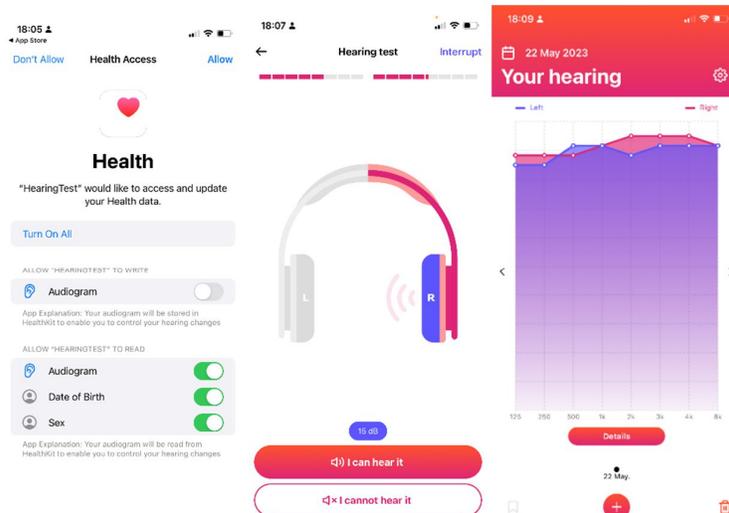


Figura 16 Funcionamiento e Interfaz de la aplicación HTAT.

- **Mimi Hearing test**

Siguiendo la línea de la anterior aplicación MHT se centra especialmente en la experiencia durante el test e iguala en el seguimiento de los resultados a HTAT ya que las dos tienen un enlace directo con el HealthKit, así mismo los resultados como veremos en las imágenes de la aplicación son excelentes y con un diagnóstico claro basándose en el audiograma resultante así como la advertencia de si las condiciones durante la prueba no han sido las más favorables, ya que puede llegar a pausar la prueba si el ruido captado por el micrófono del teléfono móvil es más que el umbral que este considera aceptable para la realización de la misma, el proceso de la prueba se puede apreciar en la Figura 17.

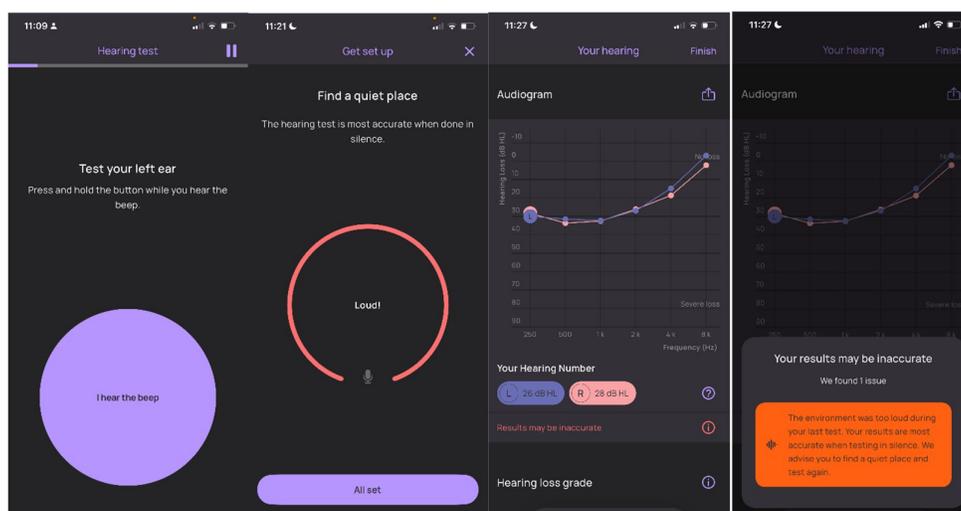


Figura 17 Funcionamiento e interfaz de la aplicación Mimi hearing test.

4.3 Elección del software a utilizar

En cuanto a la elección hemos tenido en cuenta los siguientes motivos:

- Que sea de un carácter fiable, es decir que los resultados que vemos en los softwares que emulan a las audiometrías normalizadas se parezcan a los resultados en la Figura 6.
- Que dentro de la prueba se realice con diferentes equipos y en diferentes lugares.
- Que pueda llevar a cabo una prueba realizable a un número de personas considerable con la misma condición para cada una de estas.

Por todo esto las opciones las cuales nos centraremos más serán:

- En el caso de los softwares para las pruebas en ordenador se decidió usar “**Home audiometer**”.
- Y en el caso de dispositivos móviles se decidió usar “**Mimi hearing test**”.

El objetivo será el de enfrentar los dos resultados de la prueba realizada en el mismo entorno con una diferencia de tiempo muy pequeña y con el mismo equipo.

En cuanto a la calibración realizamos la que se requería en software de ordenador, pero lo encontramos ya realizado en la aplicación del teléfono móvil con la única interacción que sería la de colocar el volumen del teléfono móvil al nivel que nos especifica la aplicación como vemos en la Figura 18.

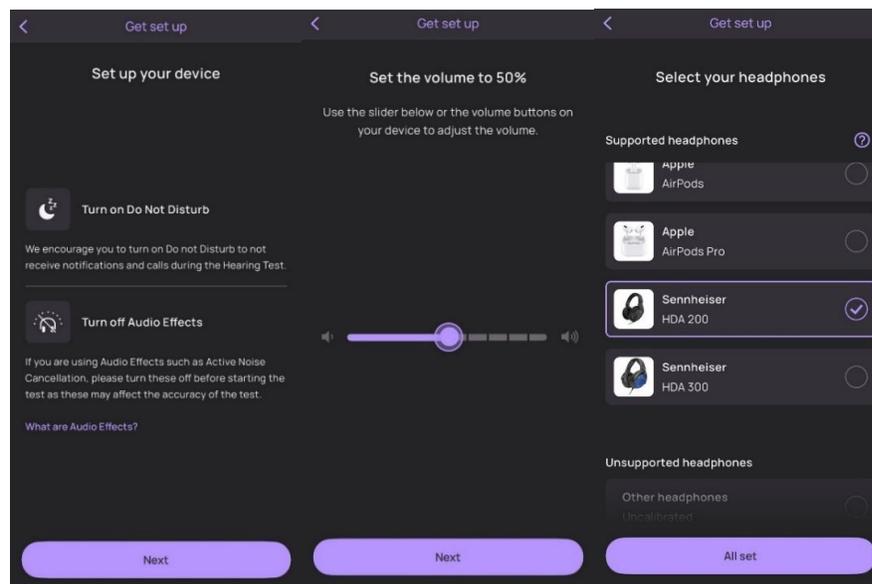


Figura 18 Proceso de set up de la aplicación para la prueba.

Por otra parte, la calibración en **HM** se basaba en la de disminuir el nivel de sonido del sistema hasta que no fuese audible el nivel de la señal generada por la aplicación, equiparándola así con el de una audiometría que hubieras realizado anteriormente, por eso la calibración se realizó sin más dificultades.

Se decide el utilizar la aplicación que se encuentra en el teléfono móvil **MHT** por las siguientes razones:

- La portabilidad, ya que como se dijo anteriormente en el apartado 4.1.2, el uso del teléfono móvil hace más flexible la elección de un entorno óptimo.
- También lo hace más accesible a la mayoría de la población *El 91,5% de los internautas ya accede a Internet a través del móvil [23]* para la detección de problemas acústicos sin la necesidad de invertir en un software de diagnóstico más costoso ni de visitar un especialista.
- La posibilidad que nos brinda la aplicación tanto de realizar una calibración mucho más fácil e intuitiva que la requerida en las aplicaciones de ordenador como de tener calibrado los cascos que poseemos en el laboratorio además de una gran variedad de auriculares los cuales identificamos como los más vendidos del mercado como podemos ver en la Figura 18.
- A su vez el hecho de incorporar el uso de otros sensores del teléfono como el micrófono para

cerciorarse que la prueba se realiza en un ambiente lo suficientemente silencioso, indicando también la recomendación de apagar las notificaciones y poner el dispositivo en silencio en el transcurso de la prueba. Así como el indicar en el resultado de la prueba que no se ha realizado en un ambiente lo suficientemente silencioso como vemos en la parte derecha de la Figura 17.

- Y más importante como vemos en la Figura 23 es el AM más fiel al realizado el ámbito médico.

4.4 Elección de entorno y equipo óptimo

4.4.1 Entorno con menos contaminación acústica

En cuanto a la elección del entorno óptimo, mantenemos el laboratorio de física como planteamos al principio de la investigación, pero debido a su cercanía con la carretera y consecuente contaminación acústica debemos plantear alguna alternativa, las principales características que se buscan serían la ausencia de ruido que pueda contaminar la prueba, así como la de generar un entorno lo más parecido a una cabina insonorizada posible.

Para el equipo constará de 3 fases comenzaremos con unos auriculares de gama baja y con una a priori mala gestión del ruido y poca calidad, para después añadirle a estos unos auriculares de protección auditiva para luego comprobar si se detectan muchos cambios con respecto a los cascos que disponemos en el laboratorio, todas estas fases las desarrollaremos en el apartado 4.4.2.

En cuanto al entorno la elección del software a utilizar era muy determinante, ya que determinaba en gran medida la posibilidad de un cambio en el entorno en el que se realiza la prueba, en primera instancia se pensó en buscar aulas completamente vacías lejos del ruido generado por el tráfico en la Av. del Tarongers, ya que este se encontraba muy cerca del laboratorio de ingeniería acústica y del laboratorio de física como pudimos comprobar en las dos medidas resultantes de las pruebas realizadas en estos dos laboratorios, las cuales se veían afectadas en el rango de las frecuencias ≤ 1000 Hz, estas se identifican con los niveles de ruido y el contenido espectral del ruido del tráfico en las carreteras.

Influidos principalmente por el tipo de vehículo, el volumen y la velocidad, así como el tipo de pavimento. El contenido espectral de los vehículos de pasajeros normalmente alcanza su punto máximo y está dominado por frecuencias en torno a los 1.000 Hz esto se ve reflejado en los resultados de las pruebas de la Figura 19 (ver anexo para ver las pruebas completas). Así mismo, el contenido espectral de los camiones pesados está dominado por frecuencias de 500 a 1.000 Hz. [24].

Por lo que se decidió realizar las pruebas en un espacio del edificio 4p (Figura 19 tercera imagen) el cual se encontraba lo más lejos posible del ruido tráfico y conseguimos la prueba que observamos en la Figura 22 donde se puede ver que no aparece advertencia por la presencia de ruido además de tener unos resultados bastante similares a los realizados en la audiometría médica.

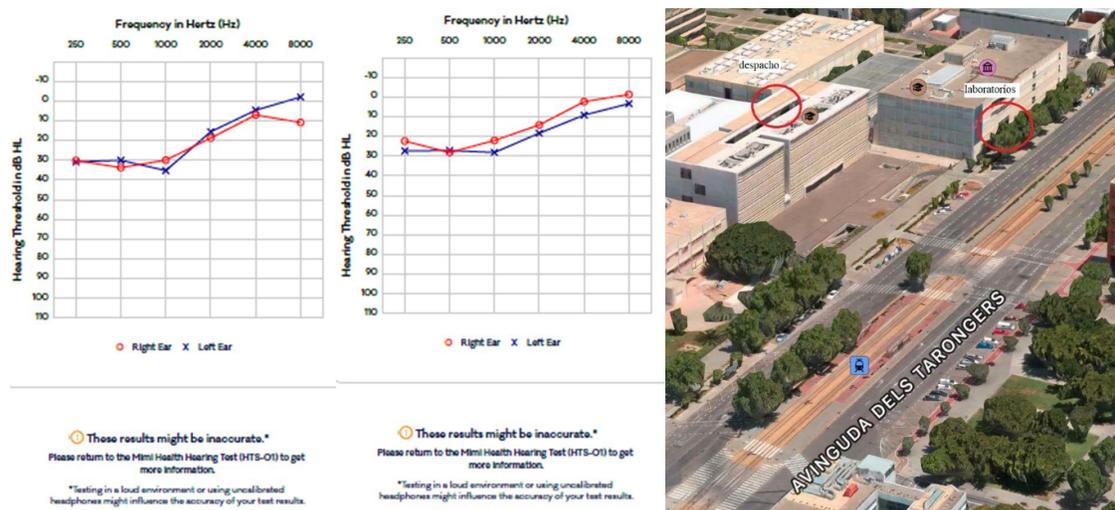


Figura 19 vemos las dos pruebas realizadas en los dos laboratorios y su localización.

4.4.2 Nuevos equipos

Para comenzar la primera fase como ya se ha mencionado anteriormente en este escrito, adquirimos unos auriculares de gama baja con unas capacidades muy limitadas, para ver si influía notablemente en los resultados de las pruebas, en la Figura 20 (ver anexo para prueba completa) también podemos ver el resultado de esta, se distancia de los resultados dados en la audiometría médica y de la realizada al mismo sujeto con los auriculares óptimos dentro de la misma aplicación,

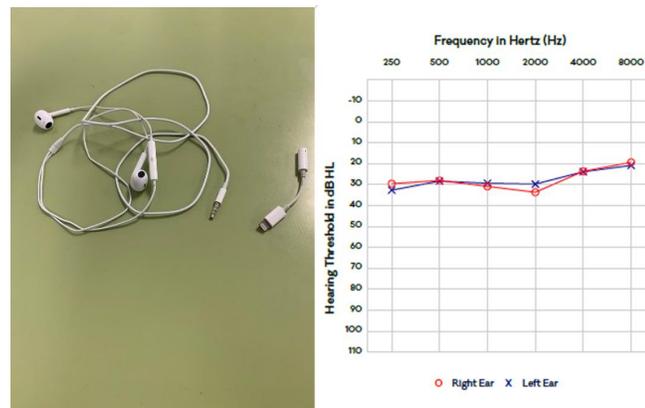


Figura 20 Cascos que testamos y resultado de la prueba

Para continuar se les añadió a estos la posibilidad de aislar en mayor medida el ruido mediante el uso de unos cascos de protección auditiva y discernir si es de más importancia la respuesta en frecuencia del equipo a utilizar o el aislamiento contra el ruido.

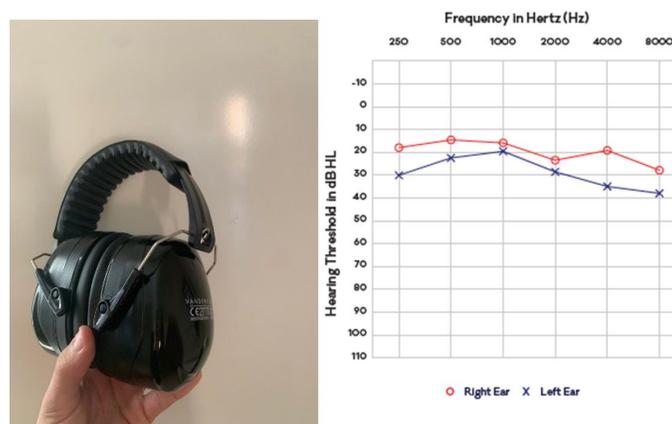


Figura 21 Equipo nuevo introducido y su resultado.

Con el devenir de la prueba (Figura 21) (ver anexo para prueba completa) podemos ver que no se aleja tanto de la prueba normativa realizada en la Figura 6 y mejora en todas las frecuencias a la de la Figura 20 por lo que como era de esperar la ausencia de ruido mejora notablemente la realización de la prueba sin ser tan precisa como la realizada con los auriculares definidos en el apartado 4.1 (Figura 22) pero sin llegar al nivel de la prueba de la Figura 23 llevada a cabo con los auriculares de gama alta propiedad del alumno (Figura 23) pese a que la aplicación no tenía una calibración previa realizada para estos auriculares dio un resultado considerablemente más preciso por lo que como conclusión se decidió priorizar la utilización de auriculares de gama alta y aun más la realización en un entorno con completo silencio.

4.4.3 Descripción del set up de la prueba

Nuestra idea era determinar que el experimento más óptimo realizable y con el resultado más parecido al de una audiometría normativa se daría con el equipo que encontrábamos en los laboratorios anteriormente especificados y dentro del espacio situado en la parte norte del edificio 4p, pero el resultado no fue el esperado Figura 22, seguía una línea similar pero la pérdida auditiva era lo suficientemente considerable como para no categorizarla de óptima.

Por lo que se buscó un entorno también favorable con un equipo distinto, en este caso en la planta baja del mismo edificio se encontraba una de las aulas de estudio de la ETSIT, la cual cumplía con creces las necesidades de ausencia de ruido requeridas en la prueba. Por lo que se decidió realizar una prueba utilizando auriculares de gama alta como definimos en el 4.4.1 y en ambientes de completo silencio como bibliotecas y aulas de estudio que a su vez debido a las fechas en las que se realizaron las pruebas se encontraban considerablemente ocupadas por el grupo poblacional objetivo, lo cual nos sera de gran ayuda en el siguiente apartado.

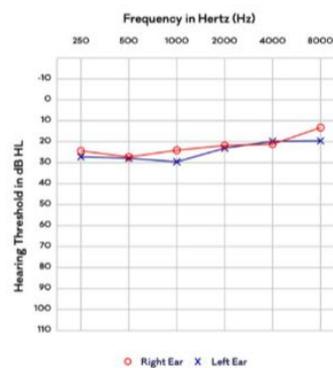


Figura 22 Prueba aproximada al nivel requerido.

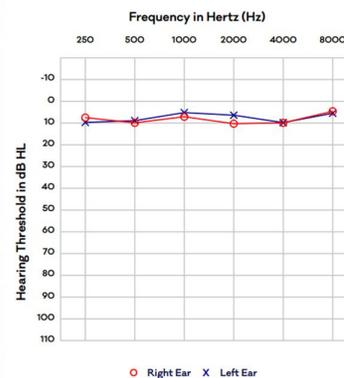


Figura 23 Prueba óptima.

4.5 Realización del testeo auditivo masivo

Tal y como se ha definido en los objetivos del documento para completar la investigación y aprovechar la elección de un método de realización de audiometrías cercano al realizable en una audiometría de laboratorio, lo cual nos permite realizar pruebas a una mayor cantidad de personas. Se realizarán pruebas siguiendo el setup especificado en el apartado 4.4.3.

Las pruebas a una cantidad considerable de estudiantes de entre 18y 25 años para sacar una muestra relativamente alta de si las pérdidas auditivas del grupo poblacional en la actualidad son mayores o menores a las especificadas en la norma facilitada en clase que corresponde con la norma UNE 74-023-92 [1].

- Nivel de umbral de audición, en dB, asociado con la edad HTLA (H) se calcula, aplicando la siguiente fórmula empírica, también la vemos como eje y en la gráfica de la Figura 24 [1].

$$para\ 0,05 < Q < 0,50 \rightarrow H_Q = H_{0,50} + k \cdot S_u$$

$$para\ Q = 0,50 \rightarrow H_{0,50} = a(Y - 18)^2 + H_{0,50;18}$$

$$para\ 0,50 < Q < 0,95 \rightarrow H_Q = H_{0,50} - k \cdot S_l$$

- Desplazamiento permanente del umbral por ruido NIPTS (N) de una población con exposición al ruido se calcula, aplicando la siguiente fórmula [1].

$$N_{0,50} = \left[u + v \log \left(\frac{\theta}{\theta_0} \right) \right] (L_{EX,8h} - L_o)^2$$

- Nivel de umbral de audición, en dB, asociado con la edad y el ruido HTLAN (H') se calcula mediante [1].

$$H' = H + N - \frac{HN}{120}$$

Con estos datos y asumiendo que el umbral de pérdida para una persona de 18 años es de 0 obtenemos la siguiente gráfica que podemos ver en la Figura 24 muestra la pérdida auditiva supuesta por la norma anteriormente nombrada para una persona de 23 años [1].

Podemos ver que coincide en gran parte con las pruebas realizadas a lo largo del documento, con una mayor pérdida en frecuencias altas con respecto a las frecuencias bajas.

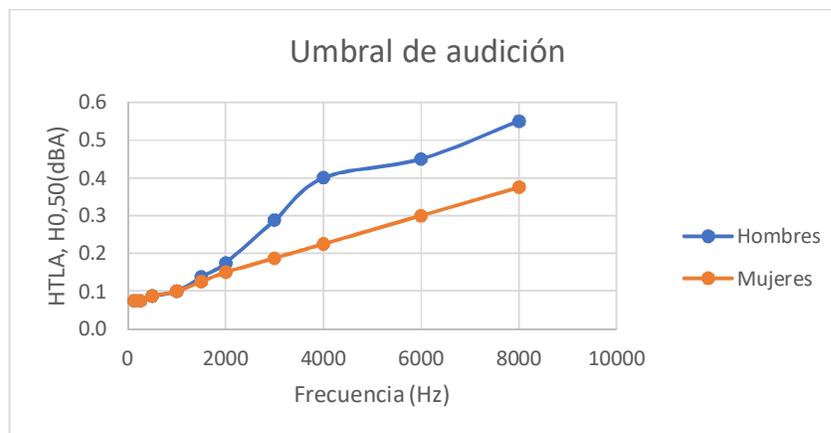


Figura 24 Gráfico usado en la asignatura para estimar la pérdida de una persona de 23 años [1].

4.5.1 Desarrollo de las pruebas y principales inconvenientes

Las pruebas en un principio se iban a realizar en el despacho del ala noreste de la ETSIT, mediante turnos de personas accediendo de manera escalonada al espacio especificado anteriormente, pero debido a la flexibilidad que nos daba tanto el entorno como el equipo óptimo (4.4.2) se decidió facilitarles a los sujetos unos códigos QR (Figura 25) que les ayudaría a la hora tanto de la descarga de la app (parte derecha Figura 25) como de la realización de la encuesta 4.5.2 (parte izquierda Figura 25).

Primero se probó si era un modelo escalable con un grupo de 5 personas estudiantes de la ETSIT, la cual fue un éxito, estos no tuvieron ningún problema en ninguna de las fases, ya que en las encuestas les aparecía la opción tanto de cargar el pdf o imagen del AM, también tenían la opción de indicar si habían tenido problemas en el desarrollo de la prueba o en la posterior encuesta, el 92,9% indico que no.



QR ENCUESTA



QR APLICACIÓN

Figura 25 QR con el enlace a la descarga de MHT y QR con el enlace a la encuesta.

En cuanto al escalado de las pruebas, para abarcar todo tipo de jóvenes se decidió recorrer la totalidad de la Universidad Politécnica de Valencia explicando a los sujetos si querían diagnosticar su deterioro auditivo y ayudar en un estudio rellenando una posterior encuesta. La acogida fue muy buena y la mayoría de los sujetos accedieron a realizar la prueba una vez estuvieran en un entorno en completo silencio.

Este procedimiento para la captación de sujeto se llevó a cabo durante 3 días hasta que identificamos un numero representativo del grupo poblacional a estudiar.

- Durante la primera jornada se consiguieron 14 pruebas realizadas.
- Durante la segunda 17 sujetos realizaron todo el proceso.
- En la tercera y última 11 sujetos.

4.5.2 Introducción de encuesta

Para la consecución de conclusiones con respecto al deterioro auditivo en los jóvenes, así como la importancia que tienen sus hábitos en esta, se ha decidido la introducción de una encuesta transversal la cual contendrá preguntas como:

- Cantidad de días y horas los cuales utilizas auriculares, así como el volumen y la calidad de estos.
- Si el sujeto frecuenta o ha trabajado en ámbitos con altos niveles de ruido.
- Y si les gustaría el hecho de que se ofreciera protección auditiva.
- Carga del a prueba realizada e impresión del proceso.
-

4.6 Interpretación de resultados

4.6.1 Resultados generales

En todas pruebas realizadas destacamos una serie de patrones a la hora interpretar los resultados que encontramos en dichas pruebas compararemos los resultados según la edad y el sexo de los participantes para después utilizando la Tabla 1 y los resultados de la aplicación categorizarlos.

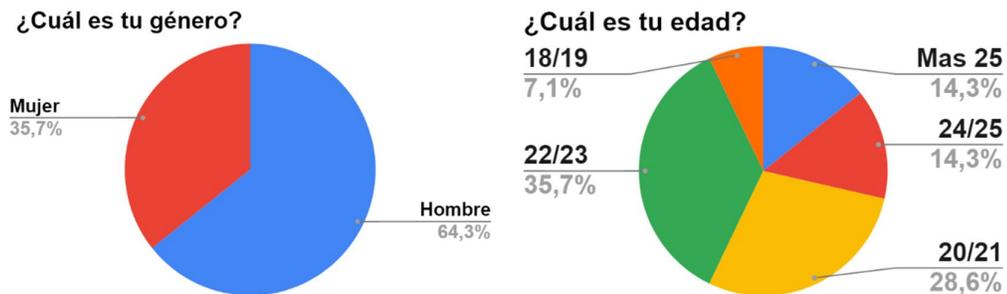


Figura 26 Gráficos con género y edad de los sujetos.

Siguiendo la norma especificada en la Tabla 1 el 94,55% de los sujetos que realizaron la totalidad del proceso estaban dentro de la audición normal o una pérdida de audición leve es decir en el rango de 21 y 34 dB. Dentro de la audición normal se encontraban el 75% y en pérdida auditiva leve el 19,44%. En la Figura 27 podemos ver una representación muy pequeña de algunas pruebas en los diversos formatos que nos eran facilitadas (ver anexo para ver una representación algo mayor), también identificamos que una de las mujeres que realizó la prueba sufría de pérdida de audición severa en la oreja izquierda.

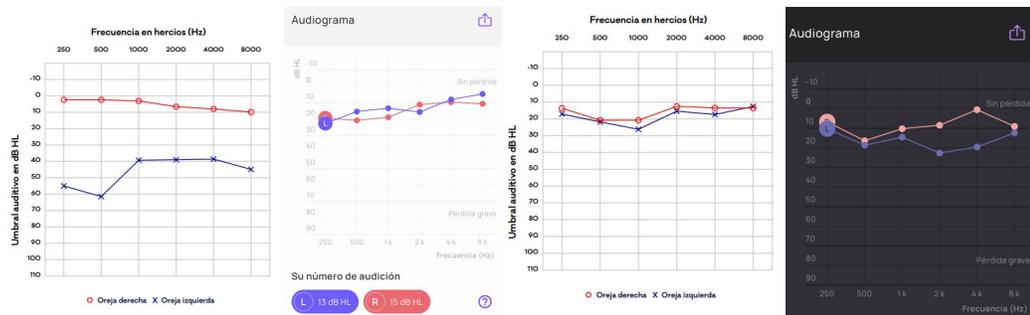


Figura 27 Pruebas de 2 mujeres y 2 hombres.

4.6.2 Hábitos auditivos entre la juventud

En la pregunta de cuantos días a la semana hacían uso de los auriculares tan solo el 21,4% dijo que lo usaba 3 o menos días el resto 78,6% que lo usaba más de 3, siendo los 7 días de la semana el más elegido con un 35,7%. También en la Figura 28 observamos como casi el 43% los utiliza entre 3 y 6 horas lo cual es una cantidad de tiempo muy remarcable. A su vez el gráfico de si les ha aparecido a los sujetos el aviso del teléfono móvil indicando que el volumen está demasiado alto algo más de 2 de cada 3 sujetos.

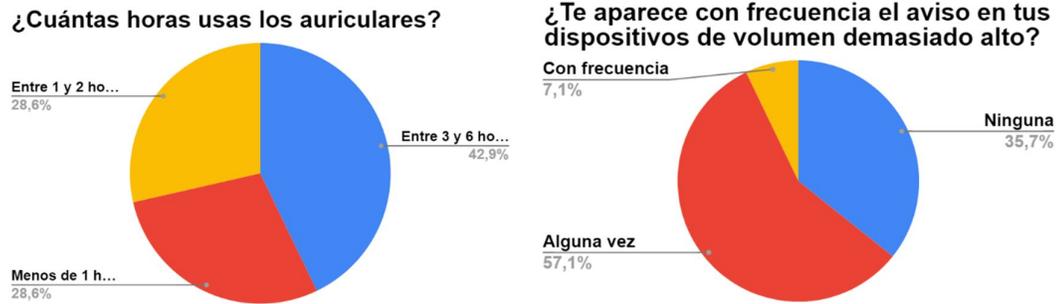


Figura 28 Hábitos relacionados con auriculares y su volumen.

Otros resultados que nos llamaron la atención fue que el 92,8% usaban cascos de calidad media o alta, siendo el resto de baja o muy baja calidad, por lo que podemos asumir que los jóvenes dan una alta importancia a la calidad de sus dispositivos.

Un apartado que preveíamos que iba a ser un agente importante en el caso de la pérdida auditiva era la presencia de los jóvenes en ámbitos con altos niveles de sonido por lo que se les preguntó cuántos habían trabajado en ambientes con ruido o música, y a qué nivel dirían que estaba esa señal. Un 40 % dijo haber trabajado este tipo de locales y de estos la mitad lo había hecho con un nivel de música muy alta, se vio en su prueba que estaba dentro del grupo de pérdidas acústicas leves.

Luego siguiendo esta línea se les pregunto si frecuentaban ambientes festivos con música alta la gran mayoría dijo que de vez en cuando, mientras que algo más del 20% sí que acudían más asiduamente, el género musical predominante entre los encuestados era el de Reggaetón seguido del Techno y el EDM. También se les pregunto a los sujetos siguiendo las pautas recogidas en el apartado 1.1.4 si en alguna ocasión el volumen les había llegado a causar incomodidad donde cerca del 85% especifico que no y el 20% indico que le gustaría que ofreciesen protección auditiva, estos sujetos los podemos relacionar con los oyentes de Techno y EDM.

Por último, se les hizo la pregunta de si habían tenido problemas con la audición en situaciones como: conversaciones con ruido de fondo, no enterarse de una llamada o cualquier situación cotidiana cuyo resultado podemos ver en la Figura 29 y podemos sacar en claro que más del 70% han tenido problemas en este ámbito y si no se toman medidas este porcentaje ira en aumento.

Has tenido problemas con la audición en tu vida cotidiana

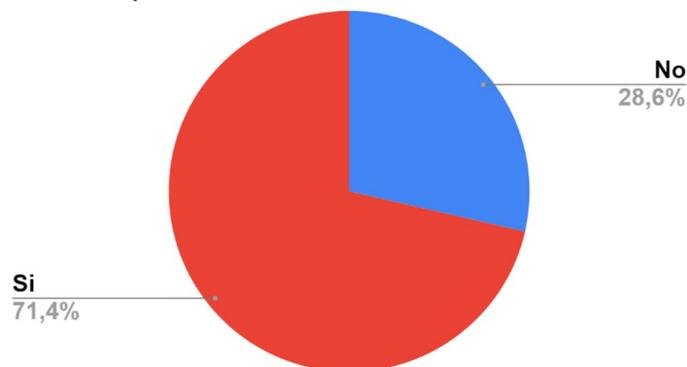


Figura 29 Problemas con la audición en vida cotidiana.



La interpretación que le damos a los resultados, pese a la limitada cantidad de muestras, en cuanto a si los hábitos auditivos en la vida diaria de los encuestados son o no significativos de cara a su pérdida de audición es que su importancia es muy notable en largos periodos de tiempo, como se exponía en las normas ISO presentes en este documento. De cara a los elementos modernos que son novedad en este grupo de edad podemos sacar como conclusión que hay un uso demasiado elevado de dispositivos de escucha personal de audio el cual se puede deber a situaciones excepcionales como largas jornadas de estudio, pero qué si se viese sostenido en periodos largos como 5 o 10 años sería uno de los factores determinantes de cara a un deterioro auditivo acentuado, a su vez en cuanto a las medidas presentadas por la OMS en el apartado 1.1.4 vemos que junto a los resultados de las anteriores preguntas sumado a que tan solo el 20% le gustaría que ofreciesen protección auditiva, podemos deducir que en ámbitos juveniles no se le da gran importancia a la salud auditiva y esto también si se sostiene por largos periodos de tiempo podría llevar a un deterioro mas notorio con respecto a la norma.

4.7 Conclusión y propuesta de trabajo futuro

En este trabajo se han explorado conceptos de Acústica Aplicada lo cual identificamos como una temática que se relaciona con materias enseñadas en la titulación del Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación.

Hemos desarrollado los conceptos teóricos de audiometría y pérdidas auditivas de este primero se han analizado sus avances, incluyendo los avances en tecnología y técnicas de evaluación, así como la estandarización de los procedimientos y la interpretación de los resultados. Del segundo hemos podido ver cómo es un problema reconocido por la OMS y que como aparte del problema acontecidos en los ambientes laborales se han abiertos nuevos frentes con la aparición de las nuevas tecnologías y las capacidades mucho mayores los dispositivos de audio.

Se han buscado diferentes métodos para la realización de audiometrías siempre remarcado la diferencia entre una audiometría realizada en un ambiente con presencia de una cámara anecoica y un equipo específico para la prueba con una que no cuente con todo este equipo. Pese a ello se ha logrado llegar a un grado de precisión muy grande con mucha similitud entre el AM realizado mediante el método que hemos desarrollado y el AM realizado por profesionales con el equipo anteriormente mencionado, ofreciendo a su vez mediante este método una oportunidad para la autoadministración y autodetección.

Como conclusión de si el deterioro auditivo de los jóvenes se distancia de la norma, destacaríamos la homogeneidad en cuanto a hombres y mujeres no notando diferencias significativas, sí que destacaríamos el uso de auriculares entre 3 y 6 horas los 7 días a la semana como una de las causas de un peor rendimiento en la prueba, así como la presencia en ámbitos con un volumen de la música alto, con una pequeña mención a los géneros musicales los cuales hacen menos uso del vocal y basándose más en el instrumental. Las demarcaciones por edad no han sido un factor que haya determinado una mayor o menor pérdida auditiva, destacamos como conclusión la importancia de unos hábitos auditivos sanos ya que es el factor más determinante en un deterioro temprano del sistema auditivo y de que los hábitos identificados en este estudio si se sostienen durante los años venideros serán los causantes de que se distancien los resultados de las pruebas auditivas de la norma, por lo que con respecto a la salud auditiva una persona con 50 años en la actualidad este mucho mejor que una persona con 50 años en el 2055.

Estos resultados contribuyen a la normalización de la audiometría y a la mejora de la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos fuera del entorno médico, lo que a su vez tiene un impacto positivo en la salud auditiva y la calidad de vida de las personas afectadas por la pérdida de audición.

Como futuras propuestas de trabajo basándonos en la investigación y los hallazgos obtenidos en este estudio podríamos sugerir las siguientes propuestas:

- Un estudio sobre la mejora de la tecnología y los métodos de evaluación: Dado que la tecnología sigue avanzando, es crucial continuar mejorando los equipos y los métodos de audiometría. Esto incluye el desarrollo de audiómetros más precisos y confiables y el análisis de nuevas técnicas de evaluación que permitan una medición de audición más completa y precisa.



Además, se podría investigar si es posible mejorar la interpretación de los resultados y la detección temprana de la pérdida de audición mediante el uso de tecnologías emergentes como el aprendizaje automático e inteligencia artificial.

- Estándares y protocolos de evaluación: continuar trabajando en la estandarización de los procedimientos y la interpretación de los resultados de la audiometría es fundamental. Se deben establecer estándares y protocolos de evaluación claros que se puedan aplicar tanto en entornos clínicos como no clínicos para garantizar la precisión y comparabilidad de los resultados.
- Investigación sobre la prevalencia y las características de la pérdida de audición: los datos de este estudio se pueden utilizar para ampliar la investigación sobre la prevalencia y las características de la pérdida de audición en diferentes poblaciones. Esto incluye investigar cómo la exposición a factores de riesgo específicos, como el ruido de trabajo o la edad, y la aparición de la pérdida de audición se relacionan entre sí. Además, se pueden investigar subgrupos específicos, como personas con enfermedades crónicas o trabajadores en sectores específicos, para comprender mejor las necesidades y desafíos relacionados con la pérdida de audición en estas poblaciones.



Capítulo 5. Agradecimientos

Me gustaría expresar mi mayor agradecimiento a mi familia que me han estado apoyando durante estos años de carrera, en especial a mis padres y a mis hermanas que han estado siempre ahí.

Mención especial a mis dos tutores, Sergio Castiñeira-Ibáñez y Jose Maria Bravo Plana-Sala, que me han ayudado siempre, pese a la distancia en todo lo que he necesitado en este proyecto, así como a Lucas Onrubia por su compañía en el laboratorio, haciendo posible la realización de este trabajo de fin de grado.

Agradezco también a mis profesores de la Universitat Politècnica de València, quienes me han brindado una gran cantidad de conocimientos a lo largo de estos años, lo que me ha permitido llegar hasta aquí. También a los profesionales que conocí en mis prácticas académicas en Düsseldorf los cuales mediante su ejemplo, experiencias vitales y sabiduría ayudaron a completar mi formación académica y vital.

Agradecer por último a Rafael Sujar Cost, Fernando Sánchez Gabaldón, Juan Carlos Ruano Matea, Mario Martinez Giménez y Rami Abou Hamed Mansur que en mayor o menor medida hemos estado juntos en estos largos y complicados años de carrera haciendo el camino hasta aquí mucho más llevadero compartiendo alegrías, penas y mucho estudio.

Capítulo 6. Bibliografía

- [1] “*Apuntes de Acústica Ambiental*”, Bravo Plano-Sala, J. M ,2023.
- [2] “*Hearing an Introduction to Psychological and Physiological Acoustics. Fourth edition*” , Marcel Dekker, Gelfand S A,2004.
- [3] “*Fisiología de la audición y el equilibrio*”, Dra. Carolina Bianchi JTP, Área de Endocrinología Facultad de Ciencias Veterinarias, UNCPBA, Tandil ,2017.
- [4] “*Aging Affects Neural Precision of Speech Encoding*”, Samira Anderson, Alexandra Parbery-Clark, Travis White-Schwoch, and Nina Kraus ,2012.
- [5] Rémy Pujol, Sam Irving, (2016, 10 de octubre), “*the ear*”, <http://www.cochlea.org/en/hearing/ear>
- [6] Audiologiaacademica, (2014, septiembre). “*Hipoacusia: concepto y etiologías*”, <http://audiologiaacademica.blogspot.com/2014/09/hipoacusia-concepto-y-etilogias.html>
- [7] Espinola Jiménez A., Bensusan Martín P. (2015). *La accesibilidad en el entorno para personas con discapacidad auditiva. Audito*, 4(2), 33-40.
- [8] “*Estimación del riesgo auditivo mediante la Norma Internacional ISO 1999*” Federico Miyara. 2000.
- [9] “*Norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición*” Organización Mundial de la Salud. 2022.
- [10] “*Exposición combinada a ruido y agentes químicos*” Manuel Bernaola Alonso y María Sánchez Fuentes Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. INSHT. 2016
- [11] “*New Metrics Needed in the Evaluation of Hearing Hazard Associated with Industrial Noise Exposure*” Meibian Zhang, Hongwei Xie, Jiena Zhou, Xin Sun, Weijiang Hu, Hua Zou, Lifang Zhou, Jingsong Li, Ming Zhang, Chucui A. Kardous, Thais C. Morata, William J. Murphy, Jane Hongyuan Zhang, Wei Qiu. 2022.
- [12] Jerger J. *Why the audiogram is upside-down*. Int J Audiol. 2013; 52:146-150.
- [13] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: *Diccionario de la lengua española*, 23.ª ed., [versión 23.6 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [09/05/2023].
- [14] Asociación Española de Audiología A. (2002). “*Normalización de las pruebas audiológicas (I, II): La audiometría tonal liminar. Audito*”, 1(2), 15-18. <https://doi.org/10.51445/sja.audito.vol1.2002.009>.
- [15] Asociación Española de Audiología A. (2004). “*Normalización de las pruebas audiológicas (III): La impedanciometría*”. *Audito*, 2(3), 51-55.
- [16] “*Harvey Fletcher’s role in the creation of communication acoustics*” Jont B. Allen Acoustics Research Department, 1996.
- [17] edsrobotics. (2021, 21 junio). *cámaras anecoicas*. <https://www.edsrobotics.com/blog/camara-anecoica/>
- [18] Burclaff, Natalie. “*Research Guides: Doing Consumer Research: A Resource Guide: Generation.*”, <https://guides.loc.gov/consumer-research/market-segments/generations>, 2022.
- [19] “*Smartphone Sensors for Health Monitoring and Diagnosis*” Sumit Majumder, M. Jamal Deen, 2019.



- [20] *“Validated Smartphone-Based Apps for Ear and Hearing Assessments”* Monitoring Editor: Gunther Eysenbach y Reviewed by Alessia Paglialonga, Ophir Handzel, Faheema Mahomed-Asmail, and Sheila Moodie, 2016.
- [21] *“Descripción en la app store de la aplicación Mimi Hearing Test”* Mimi Hearing technologies GmbH, 2018.
- [22] *“Descripción en la app store de la aplicación Hearing Test –, Audiometry Tone”* Desarrolladora IT ForYou, 2018.
- [23] Guillermo Vega G.V. (2020, 05 Marzo). *El 91,5% de los internautas ya accede a Internet a través del móvil.* <https://elpais.com/tecnologia/2020-03-05/el-915-de-los-internautas-ya-accede-a-internet-a-traves-del-movil.html>
- [24] *“Highway Traffic Noise Understanding highway traffic noise sources and how to abate them and addressing health concerns and environmental protection legislation and regulations.”* Judith L. Rochat, Darlene Reiter, 2016.



Capítulo 7. Listado de siglas

- **AM** – Audiograma.
- **EDM** – Electronic Dance Music
- **ETSIT** – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación.
- **HTAT** – Hearing Test- Audiometry Tone
- **TFG** – Trabajo de Fin de Grado
- **MHT** – Mimi Hearing Test.
- **HTLA** – Hearing threshold level age.
- **NIPTS** – Noise induced permanent threshold shift.
- **HTLAN** – Hearing threshold level age and noise.



Capítulo 8. ANEXOS

8.1 Pruebas de trabajo

El formato en los que aparecen las pruebas viene precedido por una primera página la cual aparece con el nombre de la app y con el título de resultados según en el idioma que te descargues la aplicación.

El primer documento que vemos pertenece a una de las primeras pruebas llevadas a cabo en el laboratorio por eso la advertencia de que los resultados podrían no ser certeros.

El segundo a las llevadas a cabo en el laboratorio de física.

El tercero documento en orden de aparición será el de los cascos de gama baja.

El cuarto estos mismos cascos con la introducción de unos cascos de cancelación de ruido.

El quinta será la prueba realizada con los cascos del laboratorio.

La sexta la prueba óptima.

8.2 Muestra de las encuestas

Vamos a colocar 6 de los resultados en los encuestados, creemos que no será necesario el añadir más., para separarlos del apartado anterior volverá a aparecer el título de color azul.

El primero pertenece a una mujer de entre 20 y 21 años.

El segundo y cuarto a hombres de entre 22 y 23 años.

El tercer a un hombre de más de 25 años.

El quinto a un hombre de entre 18 y 19 años.

El último a una mujer de entre 22 y 23 años.

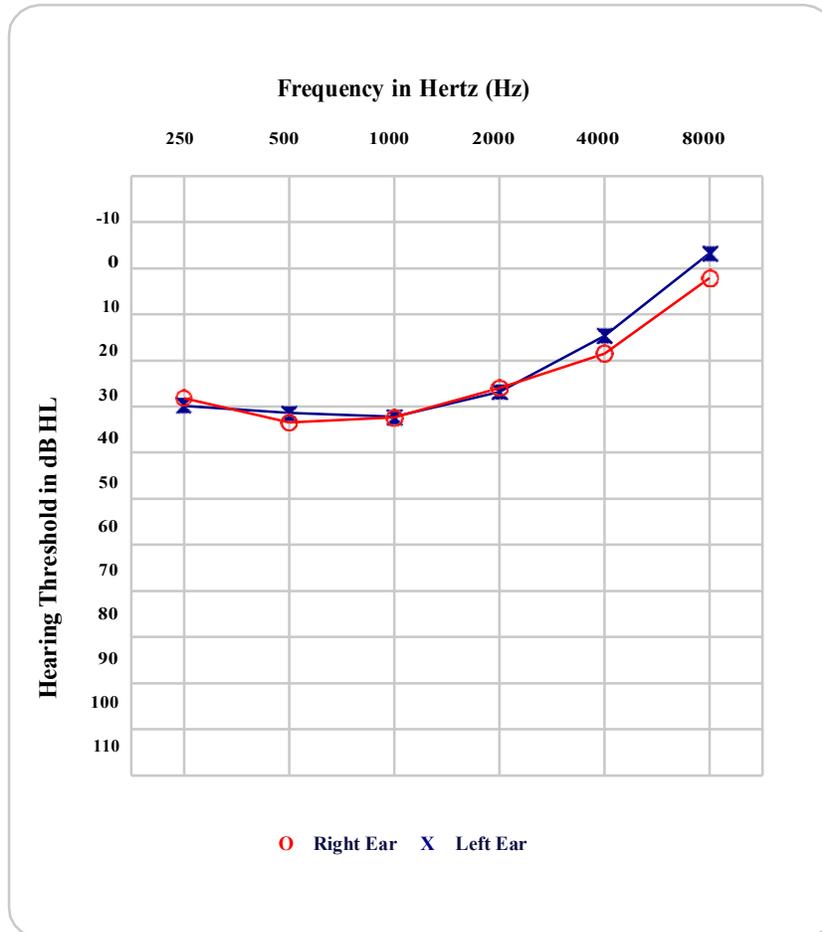


Mimi Health Hearing Test Results

Data Export



Audiogram



Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."

Prueba de umbral de tono puro
Fecha del test: 09.05.2023



Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



Suave

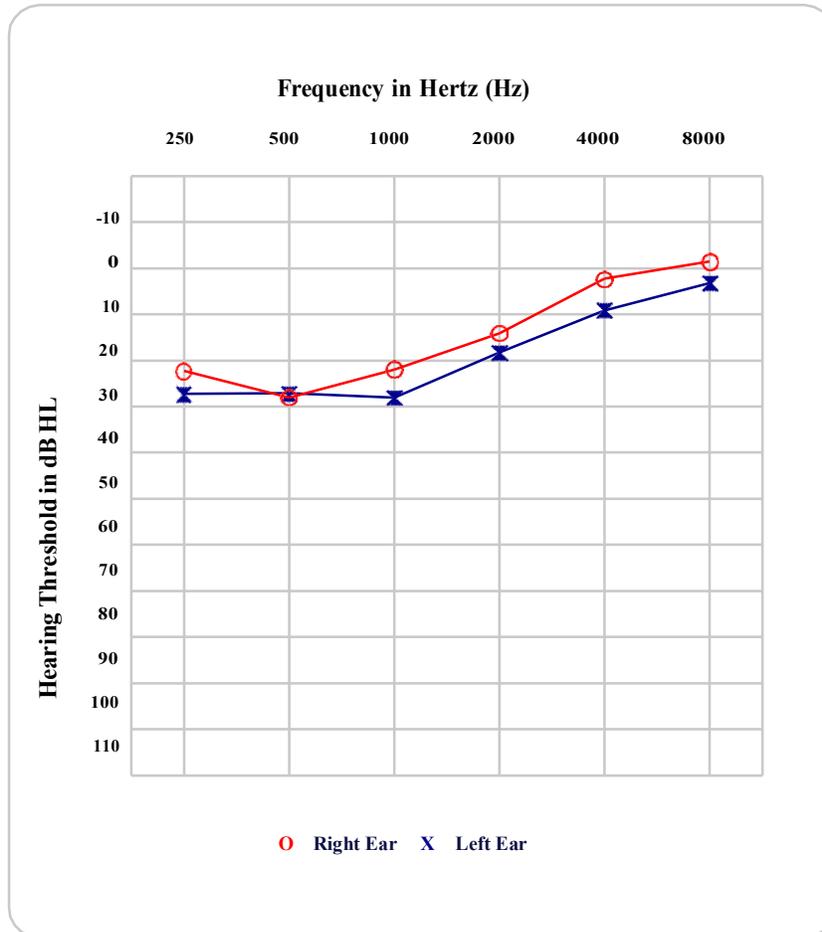
Pérdida auditiva de 26 dB a 40 dB.

No debería tener problemas para seguir conversaciones normales, aunque es posible que se le escapen palabras susurradas o sonidos lejanos.

Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."



Audiogram



Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."

Prueba de umbral de tono puro
Fecha del test: 09.05.2023



Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



Ligera

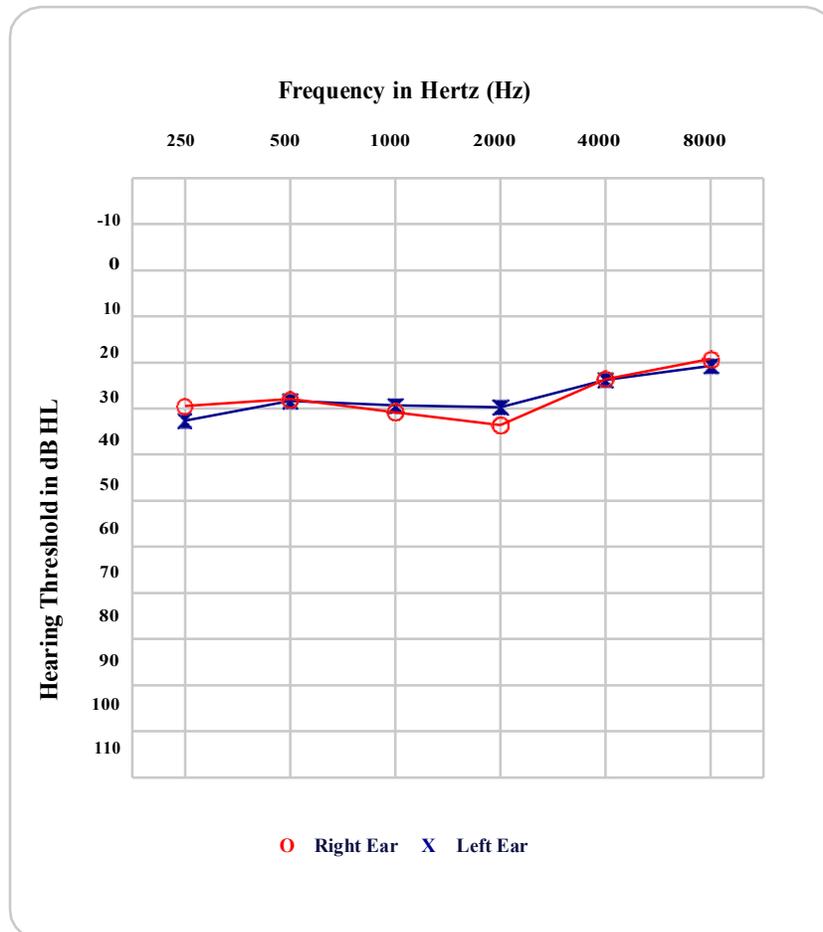
Pérdida auditiva de 16 dB a 25 dB.

Es posible que tengas dificultad para entender personas que están lejos o que hablan bajo. Puede costarte más esfuerzo escuchar sonidos débiles.

Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."



Audiogram



Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva.No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio deninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."

Prueba de umbral de tono puro
Fecha del test: 12.05.2023



Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



Suave

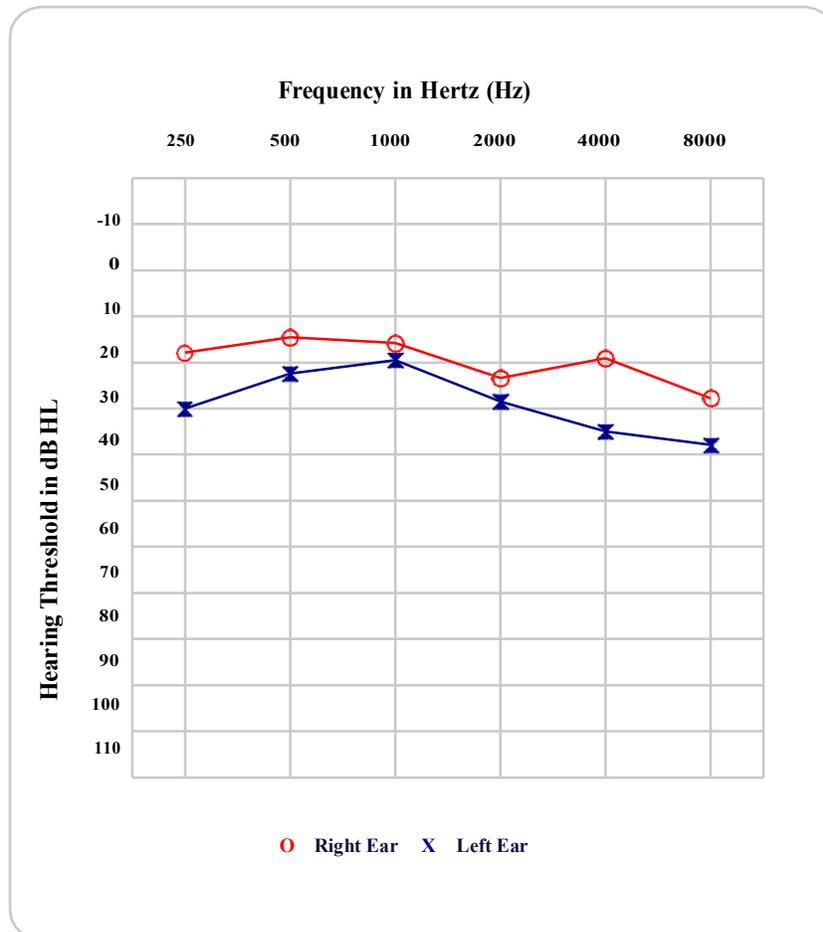
Pérdida auditiva de 26 dB a 40 dB.

No debería tener problemas para seguir conversaciones normales, aunque es posible que se le escapen palabras susurradas o sonidos lejanos.

Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."



Audiogram



Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva.No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio deninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."

Prueba de umbral de tono puro
Fecha del test: 12.05.2023



Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



Ligera

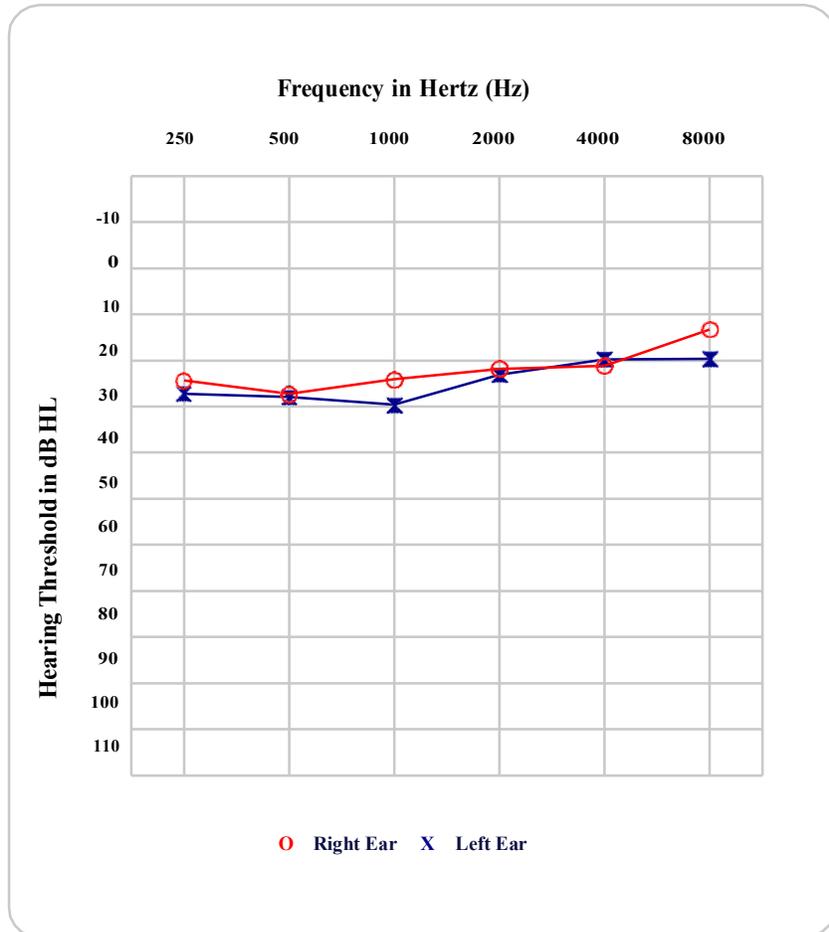
Pérdida auditiva de 16 dB a 25 dB.

Es posible que tengas dificultad para entender personas que están lejos o que hablan bajo. Puede costarte más esfuerzo escuchar sonidos débiles.

Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."



Audiogram



Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."

Prueba de umbral de tono puro
Fecha del test: 12.05.2023



Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



Ligera

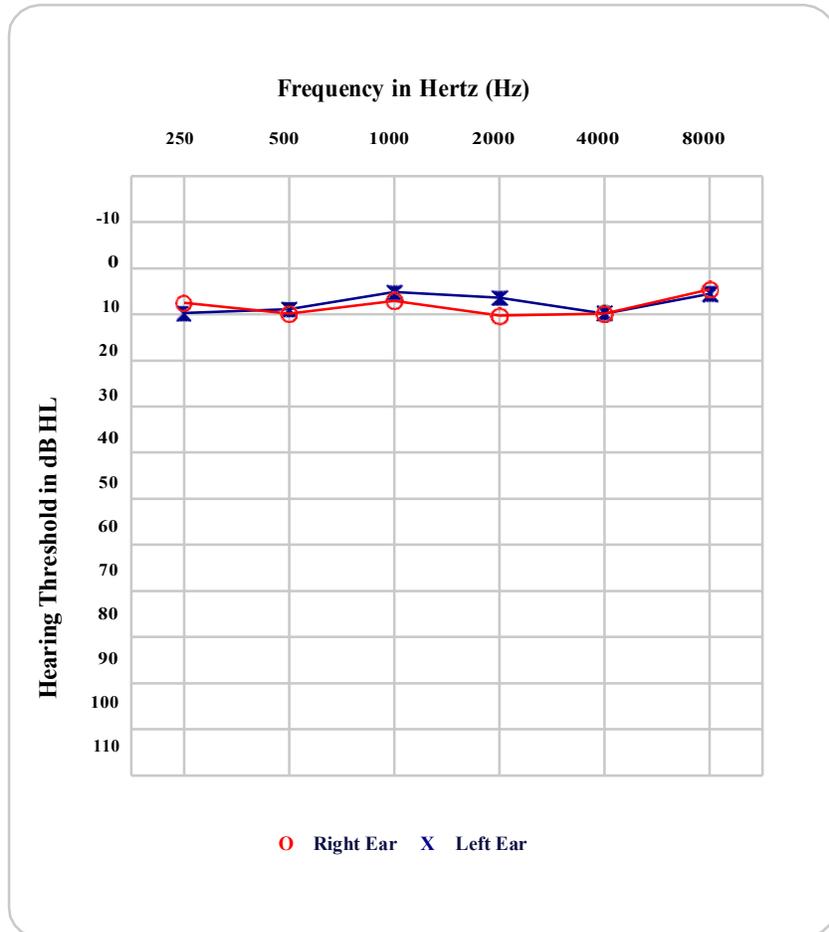
Pérdida auditiva de 16 dB a 25 dB.

Es posible que tengas dificultad para entender personas que están lejos o que hablan bajo. Puede costarte más esfuerzo escuchar sonidos débiles.

Prueba de umbral de tono puro
Fecha del test: 12.05.2023



Audiogram



Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



No hay pérdida

Pérdida auditiva de menos 15 dB.

No tiene problemas para oír incluso los sonidos más bajos ni para entender las palabras susurradas.

Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."

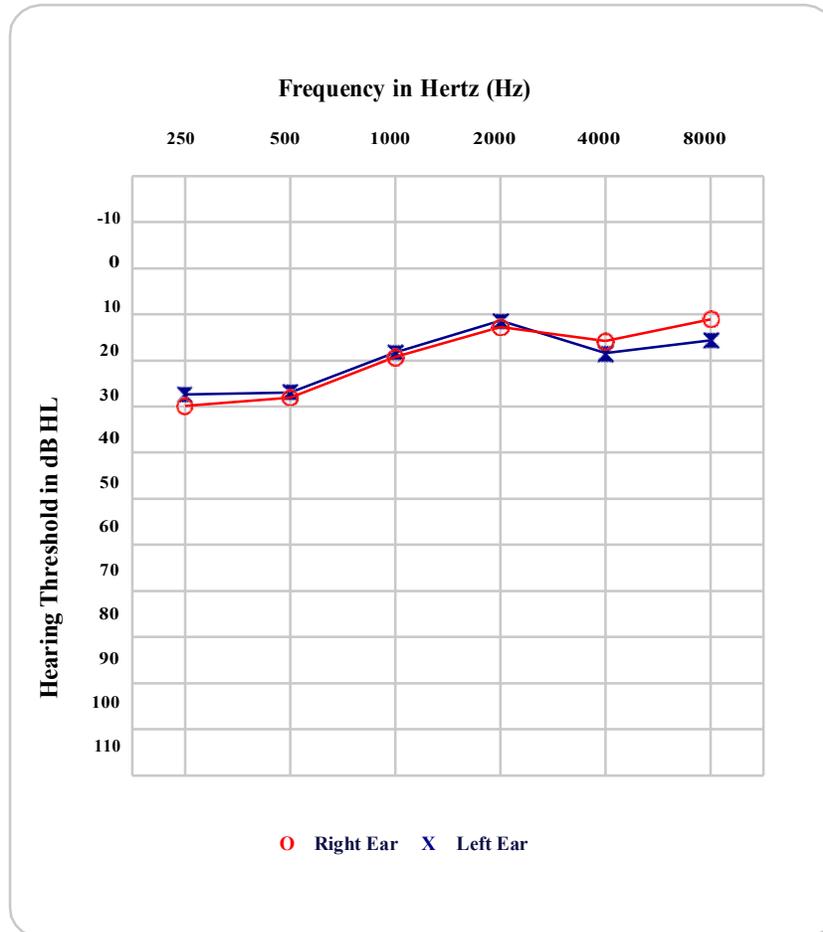


Mimi Health Hearing Test Results

Data Export



Audiogram



 **These results might be inaccurate. ***

Please return to the Mimi Health Hearing Test (HTS-01) to get more information.

*Testing in a loud environment or using uncalibrated headphones might influence the accuracy of your test results.

Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."



Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



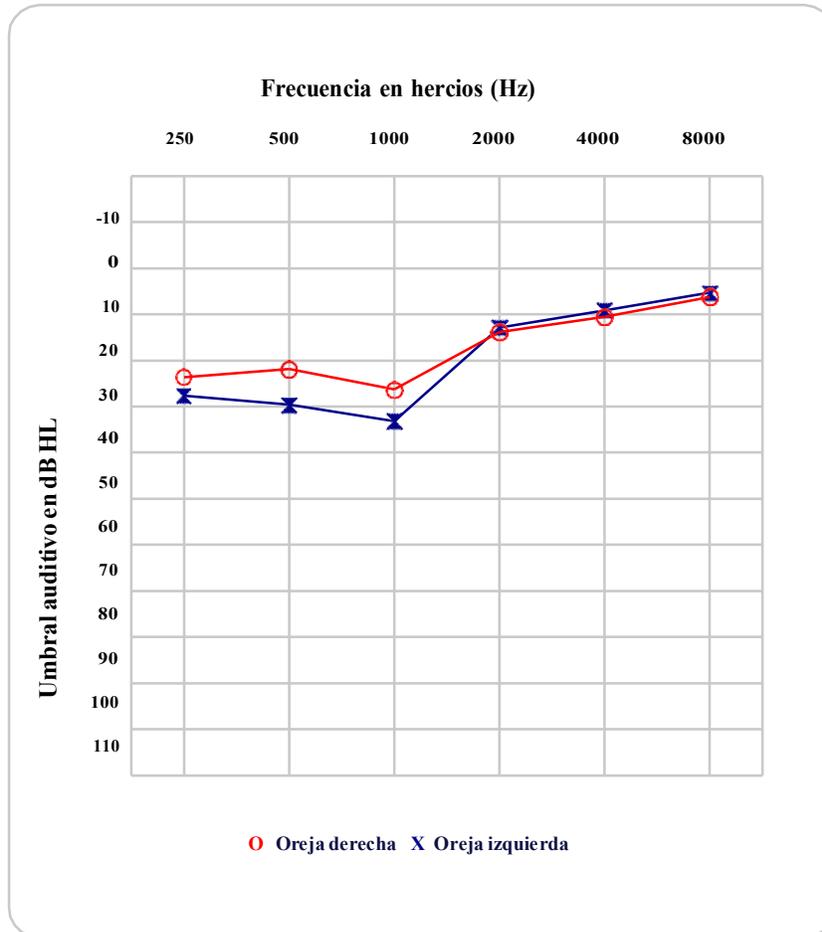
Ligera

Pérdida auditiva de 16 dB a 25 dB.

Es posible que tengas dificultad para entender personas que están lejos o que hablan bajo. Puede costarte más esfuerzo escuchar sonidos débiles.



Audiograma



Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."

Prueba de umbral de tono puro
Fecha del test: 04.06.2023



Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



Ligera

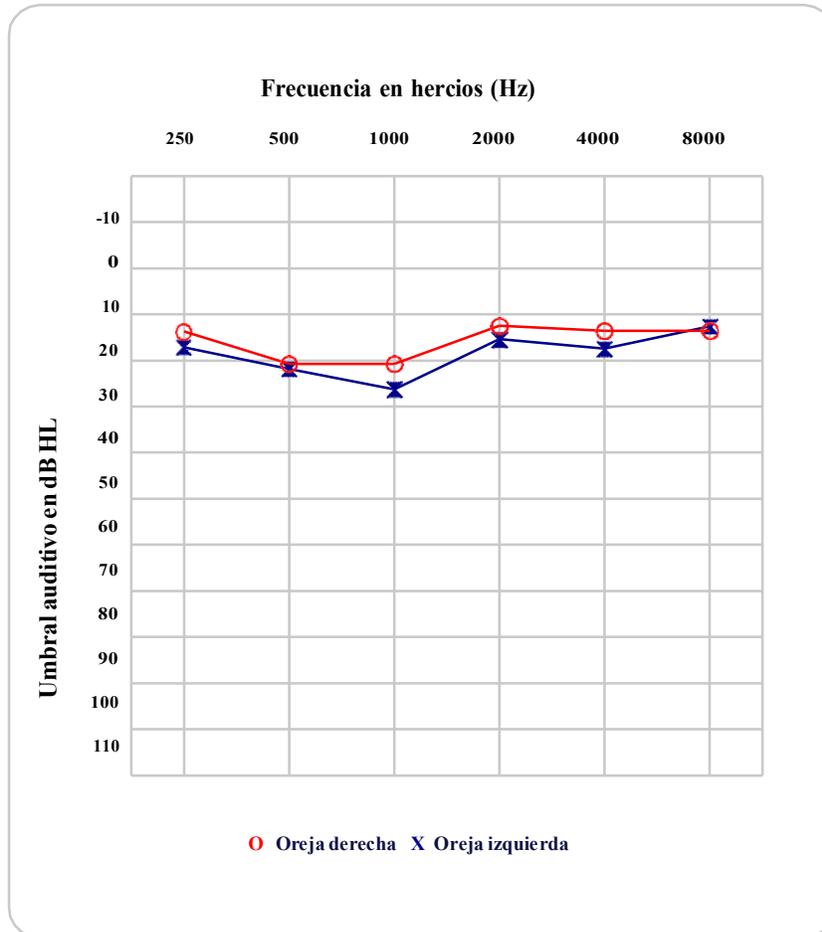
Pérdida auditiva de 16 dB a 25 dB.

Es posible que tengas dificultad para entender personas que están lejos o que hablan bajo. Puede costarte más esfuerzo escuchar sonidos débiles.

Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."



Audiograma



Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva.No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio deninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."

Prueba de umbral de tono puro
Fecha del test: 05.06.2023



Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



Ligera

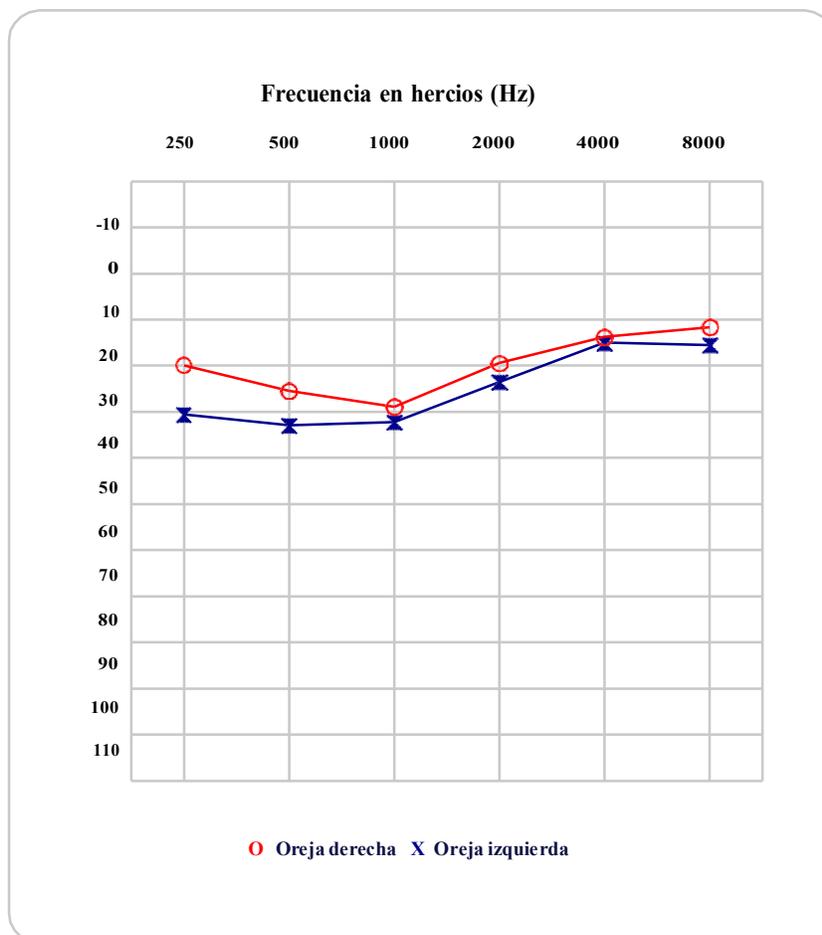
Pérdida auditiva de 16 dB a 25 dB.

Es posible que tengas dificultad para entender personas que están lejos o que hablan bajo. Puede costarte más esfuerzo

Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."



Audiograma



Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva.No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio deninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."

Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



Ligera

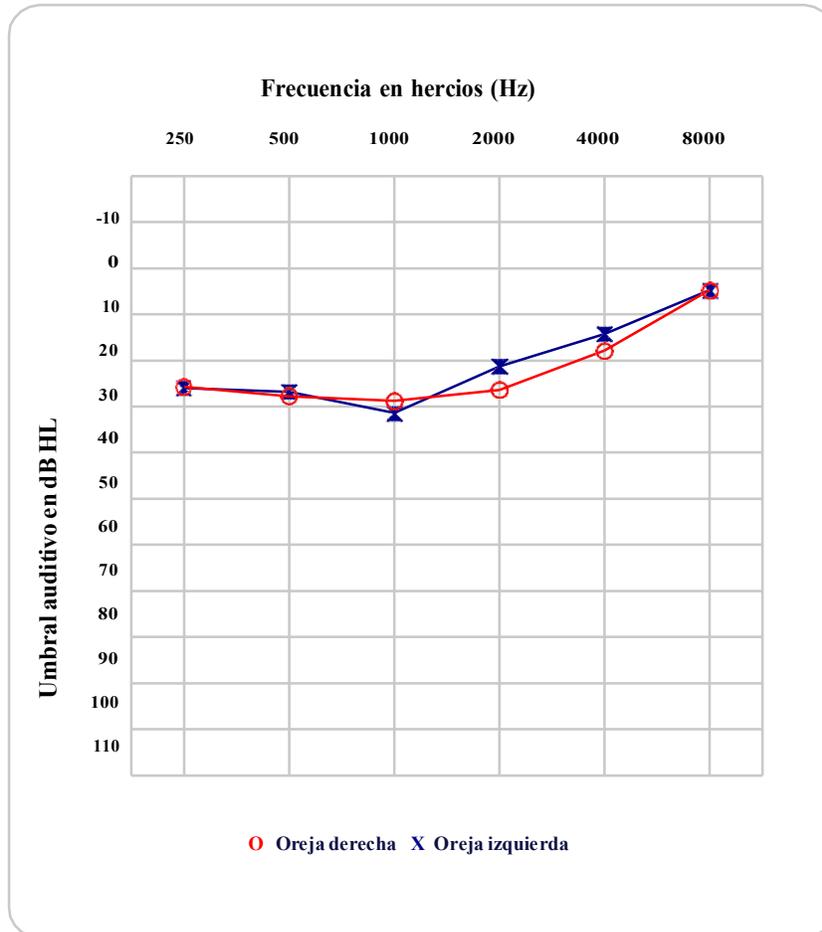
Pérdida auditiva de 16 dB a 25 dB.

Es posible que tengas dificultad para entender personas que están lejos o que hablan bajo. Puede costarte más esfuerzo escuchar sonidos débiles.

Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."



Audiograma



Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."

Prueba de umbral de tono puro
Fecha del test: 05.06.2023



Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



Ligera

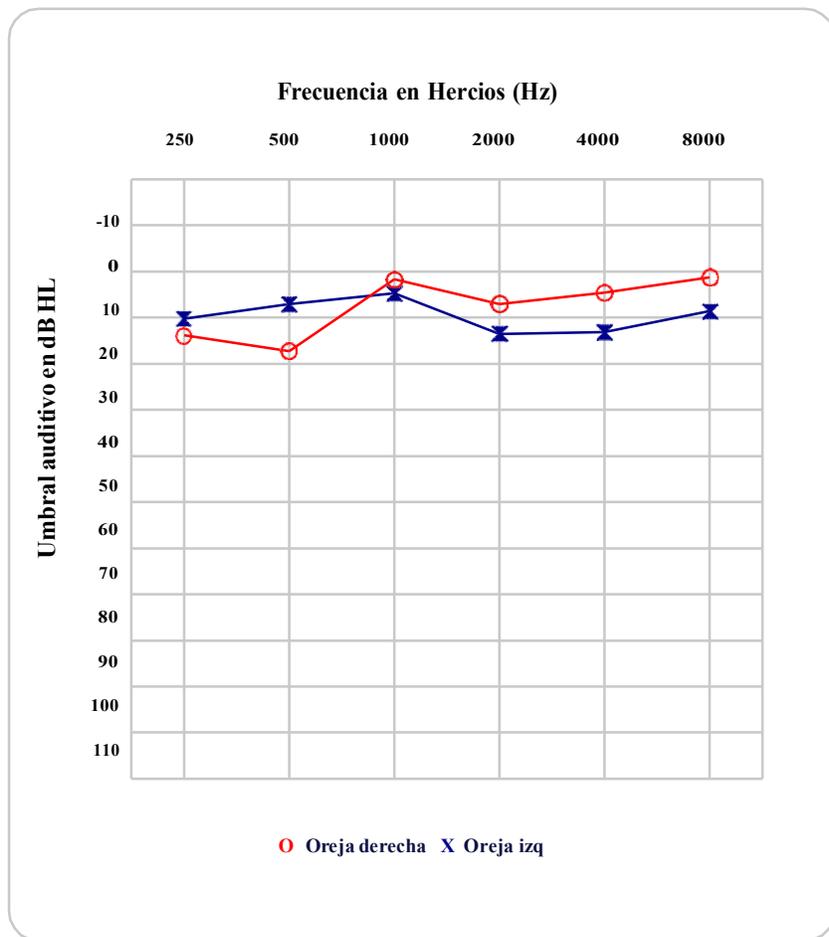
Pérdida auditiva de 16 dB a 25 dB.

Es posible que tengas dificultad para entender personas que están lejos o que hablan bajo. Puede costarte más esfuerzo escuchar sonidos débiles.

Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."



Audiograma



Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."

Tu grado de pérdida auditiva

De acuerdo con los criterios de clasificación de la OMS para la pérdida auditiva, su grado auditivo se define por su oído de mejor rendimiento.



No hay pérdida

Pérdida auditiva de menos 15 dB.

No tiene problemas para oír incluso los sonidos más bajos ni para entender las palabras susurradas.

Descargo de responsabilidad: "Mimi Health Hearing Test (HTS-01) es una herramienta de detección para la capacidad auditiva. No sustituye ni reemplaza el diagnóstico decisivo de un médico y no está destinado a la monitorización, tratamiento o alivio de ninguna enfermedad o discapacidad. Mimi Health GmbH es el fabricante de la HTS-01 y no la aplicación huésped."