



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

RELACIÓN ENTRE LA CAPACIDAD AUDITIVA Y EL INSTRUMENTO DE
INTERPRETACIÓN EN ESTUDIANTES DE LA ESCUELA DE MÚSICA
DE LA UDLA.

Autor

Danilo Danilovich Gortaire Játiva

Año
2018



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

RELACIÓN ENTRE LA CAPACIDAD AUDITIVA Y EL INSTRUMENTO DE
INTERPRETACIÓN EN ESTUDIANTES DE LA ESCUELA DE MÚSICA DE LA UDLA.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos para optar
por el título de Ingeniero de Sonido y Acústica

Profesor Guía

Msc. Christiam Santiago Garzón Pico

Autor

Danilo Danilovich Gortaire Játiva

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo, Relación entre la capacidad auditiva y el instrumento de interpretación en estudiantes de la Escuela de Música de la UDLA en la ciudad de Quito, de Danilo Danilovich Gortaire Játiva a través de reuniones periódicas con el estudiante, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Christiam Santiago Garzón Pico

Master en Acústica Arquitectónica y Medio Ambiental

CI: 171364462-1

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Relación entre la capacidad auditiva y el instrumento de interpretación en estudiantes de la Escuela de Música de la UDLA, de Danilo Danilovich Gortaire Játiva, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Carlos Andrés Jurado Orellana

Doctor en Ingeniería Eléctrica y Electrónica

CI: 175702791-5

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

Danilo Danilovich Gortaire Játiva

C.I: 172401214-9

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia y profesores por los valores inculcados y la experiencia adquirida. A mis amigos por la valiosa confianza que depositaron en mí. A mi querida novia por creer en todo momento en este sueño y meta que tan lejana la veía. A Christiam, mi tutor, por guiarme en todo el proceso con paciencia y dedicación, un agradecimiento especial.

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a mis queridos padres, quienes fueron ejemplo y me apoyaron incondicionalmente desde el comienzo hasta esta importante etapa de mi vida profesional; el esfuerzo y el fruto de mi trabajo, será siempre para ustedes.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en determinar la integridad del sistema auditivo en músicos, según el tiempo e instrumento de interpretación. El estudio fue llevado a cabo en estudiantes de la Escuela de Música de la Universidad de las Américas UDLA, mediante audiometrías por vía aérea y encuestas para conocer los antecedentes tanto de afecciones auditivas como de exposición al ruido.

Los ensayos fueron realizados a un total de 138 músicos, en el laboratorio de acústica de la UDLA, usando un audiómetro Resonance R17A de tipo 2 y dentro de una cabina insonorizada que cumple con las condiciones establecidas de un mínimo de ruido de fondo. Se usaron varios métodos de valoración auditiva, para obtener distintas cifras y clasificaciones de pérdida.

Los resultados de las pruebas audiométricas fueron correlacionados según las variables de las encuestas, estableciendo así que existe un desplazamiento del umbral auditivo en comparación a la población general de no músicos.

Por otro lado, el principal instrumento de interpretación, influye en un mayor o menor impacto en ciertas frecuencias del sistema auditivo, debido mayoritariamente a la excesiva exposición a altos niveles de presión sonora en conciertos y/o ensayos, el género musical, un diferente espectro sonoro entre los instrumentos y un escaso uso de protección auditiva en los participantes.

ABSTRACT

This research consists in define the health of the auditory system in musicians, according to the instrument of interpretation and the time dedicated to it's practice over the years. The study was performed in students of the UDLA School of Music, trough pure tone air audiometry, and surveys to be aware of the past record of both auditory affections as of noise exposure.

The tests were applied to a total of 138 musicians in the UDLA acoustic laboratory, using a Resonance R17A type 2 audiometer inside a soundproof booth, that meets the established requirements for a minimum background noise. Several methods of auditory assessment were used to obtain different figures and hearing loss classifications.

The results of the audiometric tests were correlated according to the surveys variations, establishing that there is indeed a displacement of the auditory threshold in comparison with the general population of non-musicians.

In addition the main instrument of interpretation, affect in a greater or lesser impact in certain frequencies of the auditory system, mostly because of the excessive exposure to high levels of sound pressure in concerts and / or rehearsals, the musical genre, a different sound spectrum between the instruments and a low use of hearing protection equipment in the patients.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Información relevante	1
1.1.2. Historia de la temática	4
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. El sonido.....	8
2.1.1. Propiedades del Sonido.....	8
2.1.2. Decibelio.....	11
2.1.3. Espectro Sonoro	12
2.2. Psicoacústica.....	13
2.2.1. Altura	14
2.2.2. Sonoridad	14
2.2.3. Timbre.....	20
2.2.4. Direccionalidad del Sonido	20
2.2.5. Espacialidad	21
2.2.6. Enmascaramiento.....	21
2.2.7. Fatiga Auditiva	23
2.2.8. Ruido	25
2.2.9. Características del habla	26
2.3. Acústica Musical	27
2.3.1. Instrumentos Musicales Acústicos.....	28
2.3.2. Consonancia y disonancia	29
2.3.3. Área de Audición de la música.....	30
2.3.4. Potencia.....	30
2.4. Género Musical.....	32
2.5. Breve Anatomía del Oído Humano	37
2.5.1. Oído Externo.....	37
2.5.2. Oído Medio	38
2.5.3. Oído Interno.....	40
2.5.4. Funciones del oído.....	43
2.6. Audiología.....	44

2.6.1. Audiómetro	45
2.6.2. Audiometría Tonal.....	48
2.6.3. Audiometría Por Vía Ósea	48
2.6.4. Impedanciometría	48
2.6.5. Timpanometría.....	49
2.6.6. Audiómetros Vocales y Logaudiometría	49
2.6.7. Audiometría por otoemisiones acústicas	49
2.6.8. Ruido de Fondo	50
2.6.9. HL “HEARING LEVEL”	51
2.6.10. Tipos de auriculares.....	52
2.6.11. Valores de niveles de audición según el tipo de audiómetro	52
2.6.12. Prótesis Auditivas	53
2.6.13. Umbral Auditivo.....	53
2.6.14. Calibración.....	56
2.6.15 Audiograma	57
2.6.16. Atenuación Interaural (A.I)	61
2.6.17. Curva Sombra.....	61
2.6.18. Enmascaramiento	62
2.6.19. Evolución típica audiométrica	63
2.7. Efectos del Ruido en el ser humano	65
2.7.1. Efectos no clínicos	65
2.7.2. Efectos clínicos no auditivos.....	66
2.7.3. Efectos Auditivos	66
2.8. Ototoxicidad.....	71
2.9 Métodos de medición audiométrica.....	71
2.10. Clasificación de la capacidad auditiva según varios métodos.....	È...72
2.10.1. Método AAO	73
2.10.2. Clasificación A.M.A.....	74
2.10.3. Clasificación SAL.....	74
2.10.4. Método S.I.S.I	75
2.10.5. Métodos de Fatiga Auditiva	75
2.11. Tipos de protectores auditivos	76
2.12. Legislación Laboral.....	77

3. METODOLOGÍA	79
3.1. Número de muestra	79
3.2. Métodos de Evaluación Auditiva y Clasificación.....	81
3.2.1. Índice ELI.....	81
3.2.2. Índice Larsen	82
3.2.3. Método S.A.L.....	82
3.2.4. Método A.M.A	83
3.3. Encuesta de antecedentes al participante.....	86
3.4. Protocolo antes de las pruebas:.....	86
3.5. Dimensiones del laboratorio de ensayos audiométricos.....	88
3.6. Fases del Procedimiento ((ISO 8254-1:2011)	88
3.6.1. FASE 1, Protocolo de medición	88
3.6.2. FASE 2, Método de medición auditiva (ISO 389-9)	90
3.8. Análisis de datos.....	92
3.8.1. Estadística de prueba Z (Distribución Normal) o t (t Student).....	92
3.9. Corrección por calibración	93
4. RESULTADOS	95
4.1. Ruido de fondo	95
4.1.1. Ruido de fondo del laboratorio de acústica (LA1).....	95
4.1.2. Ruido de fondo de la cabina insonorizada	98
4.2. Estadística de la muestra.....	100
4.2.1. Muestra total	100
4.2.2. Edad	101
4.2.3. Músicos según el instrumento	101
4.2.4. Género Musical.....	102
4.2.5. Sexo.....	103
4.2.6. Antecedentes Auditivos	103
4.2.7. Operación del oído.....	104
4.2.8. Medicamentos Ototóxicos.....	104
4.2.9. Antecedentes Familiares	105
4.2.10. Exposición al ruido.....	105
4.2.11. Exposición a conciertos/discotecas	106
4.2.12. Exposición a equipos reproductores de música personales	107

4.2.13. Horas y años de práctica	108
4.2.14. Uso de protección Auditiva	111
4.2.15. Preguntas subjetivas a los pacientes.....	111
4.3. Análisis de resultados audiométricos según el tipo de método	112
4.3.1. Clasificación SAL.....	112
4.3.2. TEST A.M.A.....	112
4.3.3. Test de ELI	115
4.4. Análisis de Niveles Audición	118
4.4.1. Comparativa global entre oídos en HL.....	119
4.4.2. Comparativa entre sexo.....	121
4.4.3. Comparativa entre antecedentes.....	122
4.4.4. Exposición al ruido.....	122
4.4.5. Conciertos y discotecas al año	124
4.4.6. Reproductores Portátiles	124
4.4.7 Tiempo de interpretación global.....	125
4.4.8 Comparativa final de factores de afección auditiva.....	126
4.4.9 Comparativa entre participantes de con y sin factores de afección auditiva	127
4.5. Análisis de umbrales auditivos según el instrumento musical basado en tiempo de interpretación y género musical	128
4.5.1. Tiempo de interpretación a través de los años	128
4.5.2. Guitarristas	129
4.5.3. Bateristas.....	132
4.5.4. Pianistas	134
4.5.5. Bajistas	136
4.5.6. Vocalistas	138
4.6. Resultado final comparativo.....	140
5. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	143
6. PROYECCIONES	145
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	146
7.1. Conclusiones	146
7.2. Recomendaciones	149
REFERENCIAS.....	151

ANEXOS	157
--------------	-----

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

1.1.1. Información relevante

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), 360 millones de personas padecen de pérdida auditiva, y aproximadamente 1100 millones de jóvenes de entre 12 y 35 años corren el riesgo de padecerla en un futuro próximo. Existen principalmente, dos tipos de pérdida auditiva, una es por alguna causa congénita (sea o no hereditaria) y otra es por causa adquirida. Esta última puede ser provocada por muchos factores como enfermedades, traumatismos o envejecimiento, sin embargo, la mayor cantidad de personas que pierden su capacidad auditiva, es debido a una larga e inadecuada exposición al ruido excesivo (OMS., 2017).

En el artículo 55, apartado 7, del "Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo", se establece que los niveles máximos de exposición al ruido a los que una persona puede someterse a una jornada de trabajo son:

Tabla 1.

Niveles máximos de exposición según el decreto 2293

Nivel Sonoro/dB (A-lento)	Tempo de exposición, Por jornada/hora
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0.25
115	0.125

Tomado de (IESS, 2005)

Por otro lado, dentro de este contexto también existe la exposición a sonidos muy elevados durante actividades recreacionales tales como discotecas, conciertos, uso de aparatos de audio personales a un volumen y/o duración excesiva y por último la exposición de músicos a sonidos al momento de interpretar un instrumento, en donde el uso de protección auditiva es realmente limitado (Seguridad y Salud en el Trabajo., 2017). Igualmente, en la Guía para el

ruido comunitario (Berglund, 1999) muestra cifras recomendadas para ambientes específicos:

Tabla 2.

Valores máximos recomendados de Nivel presión sonora equivalente en dB/A según el ambiente y tiempo de exposición

Ambiente Específico	Efecto Crítico sobre la salud	L/Aeq [dB/(A)]	Tiempo [horas]	Lmax fast [dB]
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento	Deficiencia auditiva (patrones: <5 veces/año)	100	4	110
Discursos públicos interiores y exteriores	Deficiencia auditiva	85	1	110
Música y otros sonidos a través de audífonos o parlantes	Deficiencia auditiva (valor de campo libre)	85 #4	1	110

Tomado de (Berglund 1999)

La tabla 2, evidencia el efecto sobre la salud que puede producir la música, y eventos pequeños como seminarios o discursos o en su defecto conciertos, ceremonias o festivales, en los que el nivel puede llegar a 110 dB y causar un daño importante en el oído (Berglund, 1999).

Recientemente, ha surgido una preocupación general con respecto a la pérdida auditiva inducida por el ruido de actividades de producción de sonido excesivamente amplificadas dentro del ambiente profesional, sobre todo en ingenieros y técnicos de sonido, quienes tienen una relación laboral con eventos y música en vivo. Una investigación realizada en Brasil en 2008 arroja una estadística tomada a 177 personas (82 dedicadas al sonido en vivo y el resto sin exposición a ruido laboral), mostrando un desplazamiento del umbral en 50% de los ingenieros/técnicos en comparación al 10% de la población sin exposición al ruido laboral, con mayor incidencia en altas frecuencias (Dib et al., 2008).

Otro estudio realizado en 2010, afirma que tan solo 15 minutos de exposición a música mediante audífonos, sean estos de cualquier reproductor digital o en su defecto audífonos de monitores para músicos profesionales y sobre todo a niveles de presión sonora superiores a 95 dB. Prácticamente cualquier audífono

actual, es capaz de llegar e incluso sobrepasar ese nivel sonoro (Fligor & Clarke, 2017).

En cuanto a músicos, existen diversos estudios que demuestran pérdida auditiva en importantes porcentajes. La primera publicación llevada a cabo en músicos sinfónicos en Polonia, determinó que estos tienen una exposición a niveles de presión sonora equivalente en el rango de 81-90 dB durante 20 a 48 h y umbrales de audición superiores a 25 dB en frecuencias altas (4 y 6 KHz) en el rango de 13 - 33% y 9 - 33 % en mujeres y hombres, respectivamente y con una prevalencia del 20% de tinnitus y casi la mitad de Hiperacusia. El mayor riesgo está relacionado con tocar instrumentos de viento de metal. Alrededor del 46% de los encuestados notaron problemas de audición. Y aproximadamente 1 de cada 5 músicos se quejó de tinnitus, mientras que casi la mitad (48%) de ellos - de Hiperacusia. Sin embargo, solo el 14% de los músicos declararon el uso presente o pasado de dispositivos de protección auditiva (HPD), y solo el 30% afirmó usarlos en algún futuro (Pawlaczyk-Łuszczynska., 2010). Por otro lado, los percusionistas poseen una menor integridad externa de las células ciliares que la población no música (Jodee A., & David R., 2005). Otro estudio a músicos estudiantes del conservatorio de Rotterdam, arroja los siguientes resultados audiométricos: Un 16% presenta problemas de ruido al momento de la audiometría y pérdidas auditivas en altas frecuencias en un 20% y el 72% con pérdida en altas frecuencias. Sin embargo, no se demostró que la práctica del instrumento afecte de manera seria o moderada al oído y la comprensión de la palabra (Sułkowski et al., 2017). En cuanto a géneros musicales más concretos, existe un estudio actual realizado en Noruega compromete a músicos de rock, obteniendo resultados de una pérdida de audición en el 37.8% de los participantes y con umbrales menores, sobre todo en 6 KHz, en comparación al resto de la población de no músicos. El grado de pérdida auditiva también fue evidente en cuanto al instrumento de interpretación, siendo los guitarristas poseedores de un umbral auditivo más alto que los vocalistas. En cuanto a la tinnitus el 20% la posee de manera crónica y ninguno de manera grave (Størmer et al., 2017). Se encontró también que existe una importante pérdida auditiva en músicos que practican varias horas semanales, en comparación a los años de interpretación de un instrumento (Halevi-Katz, 2017).

"Tendemos a no pensar en la música como un ruido sino como un sonido agradable" (Schmidt., 1994). Sin embargo, "tocando lo suficientemente alto durante largos períodos de tiempo, se ha demostrado que la música puede convertirse en una amenaza para el oído humano". Este problema puede ser causado por la reproducción de música, eventos en vivo, ensayos o el tipo de instrumento que tocan relacionado con las horas de práctica, años de práctica, edad, bajo índice de protección auditiva y/o género musical de interpretación (Halevi-Katz, 2017).

1.1.2. Historia de la temática

El audiómetro es un dispositivo electroacústico para medir la capacidad auditiva en seres humanos y determinar su nivel de audición. Este aparato tiene su antecedente gracias al físico George Von Békésy de origen húngaro-americano, quien antes y durante la Segunda Guerra Mundial trabajó en la oficina de correos de Hungría (1923 – 1946), en donde realizó varias investigaciones en las telecomunicaciones, específicamente en tonos, frecuencias y en mejorar la calidad telefónica para después dar al primer dispositivo patentado y usado para medir de manera específica la capacidad auditiva. Esta investigación lo inspiró para trabajar posteriormente en temas relacionados al oído, tales como las consecuencias de distintos tipos de frecuencias y niveles en distintas partes del oído humano. Teorizó de que cada célula ciliada a través de la cóclea, correspondería a una específica frecuencia sonora en donde también aplicó el análisis de Fourier en los temas relacionados con la pérdida auditiva según la tonalidad.

Cabe recalcar que la Audiología nace como un campo independiente que emergió después de la Segunda Guerra Mundial para ayudar, analizar y tratar en un principio a soldados, quienes habrían sufrido traumas acústicos en su sistema auditivo, debido al uso de armas de fuego, pero que después se expandió para el uso general en todo público con y sin afección auditiva.

1.2. Marco referencial

Este proyecto determinará la existencia de pérdida auditiva aplicada a estudiantes de la escuela de música de la UDLA, abordando temas importantes como la audiológica, la psicoacústica, la electroacústica, la acústica musical y la estadística. Se realizarán distintas muestras a estudiantes de manera cualitativa y cuantitativa para obtener distintos resultados de percepción de nivel y frecuencia para ambos oídos por medio de una audiometría y de este modo obtener una conclusión concisa. Por último, generar conciencia sobre el daño que puede ocasionar el indebido uso de distintos dispositivos de audio, así como la larga exposición a sonidos por un tiempo y nivel altos; serán la intención final del proyecto.

1.3. Hipótesis

Los músicos presentan un mayor desplazamiento del umbral auditivo, en comparación a la población sin exposición a ruido laboral, siendo 4 y 6 Khz las frecuencias que mayor afectación tienen dentro del espectro frecuencial utilizado (0.125 a 8 KHz por bandas de octava e inclusión de 6 KHz de media octava por su alta incidencia de afectación).

Debido a una mayor exposición de nivel de presión sonora, existe una mayor afectación auditiva en bateristas y guitarristas eléctricos, sobre todo en géneros musicales como Metal o Hardcore.

Al menos el 20% de los participantes afirma tener acúfenos de manera recurrente, así como un 33% o más no usa protección auditiva.

1.4. Alcance

En cuanto al equipo que se manejará, se utilizará el audiómetro Resonance R17A, el cual está disponible en el establecimiento académico y cubre frecuencias sinusoidales puras que van desde los 125 Hz hasta 8 Khz. No obstante, queda eliminada la posibilidad de usar otro dispositivo y otras frecuencias que no estén en el rango mencionado.

Con respecto al tipo de audiometría y al procedimiento que se realizará, ésta será solamente la publicada en la metodología, descartando otro tipo de procedimiento no mencionado. Por último, las audiometrías se realizarán

únicamente en la sala de ensayos ubicada en el subsuelo de la sede Granados de la Universidad de Las Américas, por motivos como la cercanía hacia los estudiantes de música y el acondicionamiento - aislamiento acústico, así como la disposición de una cabina audiométrica con un índice de curva de ruido "NC 15" que esta presenta para las pruebas requeridas y posee condiciones de escucha correctas para medir la capacidad auditiva de los pacientes.

El proyecto estará limitado únicamente a realizar audiometrías por vía aérea a los estudiantes de la escuela de música de la Universidad de Las Américas "UDLA", siendo los siguientes factores de exclusión e inclusión a considerar:

1.4.1 Factores de Inclusión:

- Se podrán incluir a ex estudiantes de la carrera de música o a estudiantes externos a la Universidad, como alumnos de conservatorio o de otros institutos de música o producción musical, los docentes también serán considerados.
- Se incluirá una muestra menor de participantes no músicos para su posterior análisis y comparativa de umbrales con el grupo de músicos.

1.4.2 Factores de Exclusión:

- Otro tipo de mediciones relacionadas con la obtención de pérdida auditiva en personas como son: audiometrías por vía ósea, timpanometrías y mediciones de emisiones Otoacústicas para determinación de salud coclear.
- Participantes que se dediquen al manejo de la música pero que no interpreten ningún instrumento musical, tales como productores, compositores, arreglistas, técnicos o ingenieros de sonido y/o acústica.

1.5. Justificación

El aporte de esta investigación, será el de contribuir a la sociedad en el estudio de la pérdida auditiva en músicos, para de esta manera procurar una prevención ya que el sistema auditivo en muchos casos es irreversible. Por otro lado, incentivar mayores investigaciones a futuro en el campo de la audiolgía en general, será un aporte al que se quiera llegar.

Finalmente, con este proyecto, se pretende concientizar a músicos a cuidar su aparato auditivo y a incentivarlos a usar protectores auditivos, así como de ensayar las horas adecuadas y limitar el uso o el volumen de dispositivos de reproducción de audio, entre otras medidas de precaución.

1.6. Objetivos:

1.6.1. General:

Evaluar el índice de pérdida auditiva en estudiantes de la escuela de música de la UDLA según el instrumento de interpretación, mediante exámenes audiométricos.

1.6.2. Específicos:

1. Diseñar una encuesta para categorizar al número de estudiantes según el instrumento de interpretación, los años de práctica y las horas de ensayo.
2. Realizar una audiometría que sirva de línea base para verificar la curva de Hearing Loss de cada uno de los participantes.
3. Desarrollar un análisis estadístico de los resultados obtenidos según los indicadores mostrados tanto en la encuesta como en la audiometría.
4. Comparar el nivel de audición de los músicos con el promedio del nivel auditivo de la normativa ISO 7029:2000 de una población ontológicamente normal, así como con el de un grupo de control de no músicos, en ambos casos sin exposición a ruido laboral.
5. Determinar que instrumento es el que mayor desplazamiento del umbral auditivo provoca y cuáles son los que lo siguen.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El sonido

El sonido es la propagación de ondas longitudinales a través de un medio elástico que puede ser líquido, gaseoso o sólido y es causado por una vibración o cambio de presión atmosférica en el caso del aire, esto se debe a la compresión y rarefacción de la onda en dicho medio elástico. El aire está formado por una cantidad de partículas o moléculas en un estado caótico y homogéneo y son excitadas al momento de ocurrir un cambio en la presión, (Miyara, 2003). La perturbación se propaga en forma de una onda esférica a todas las direcciones del espacio, cuyo radio va en aumento a medida que el tiempo transcurre y su nivel de intensidad se reduce a medida que la propagación avanza en distancia y afecta a su paso a la presión atmosférica (Beranek, 1986).

La presión sonora es la variación de la presión atmosférica del aire y se expresa en Pascales (Pa) y está en el orden de los 100.000 Pa. Las variaciones de presión producidas por las ondas sonora son muy pequeñas comparadas con este valor. El sonido más intenso considerado como umbral del dolor en el ser humano, posee unos 20 Pa. Para diferenciar este aumento en la presión atmosférica en ausencia de sonido, se lo llama presión sonora y se abrevia con la letra p. Las presiones sonoras audibles para el ser humano están entre los 0,00002 Pa y 20 Pa (Miyara, 2003).

El rango audible en el ser humano, va desde los 20 Hz hasta los 20 Khz. Frecuencias menores (infrasonidos) y mayores (ultrasonidos), no son percibidas por la persona (Moore, 2012).

2.1.1. Propiedades del Sonido

2.1.1.1. Velocidad

El sonido posee una velocidad de propagación en el aire que varía de acuerdo con la temperatura (0,17 % por cada grado centígrado). Dicha velocidad a 23 grados centígrados vale a:

$$C = 345 \text{ m/s o bien } 1242 \text{ km/h}$$

2.1.1.2. Periodicidad

La mayoría de sonidos en la naturaleza son el producto no de una única sino de varias perturbaciones sucesivas. Este tipo de sonidos se llaman periódicos y se dividen en ciclos. En donde cada ciclo es lo ocurrido entre 2 perturbaciones.

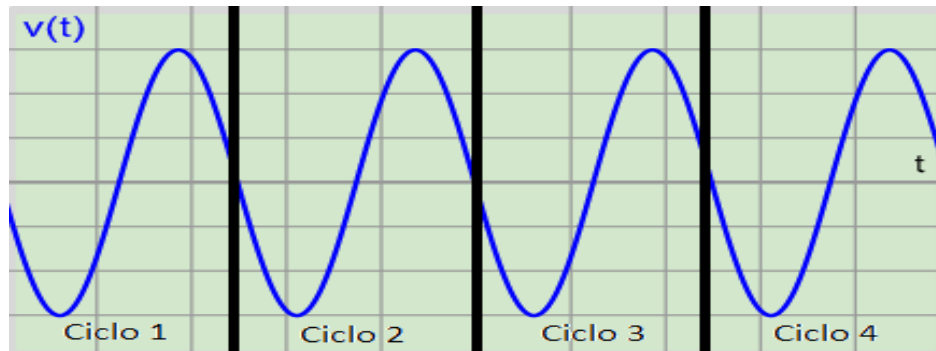


Figura 1. Onda periódica de 4 ciclos.

2.1.1.3. Longitud de Onda

Una propiedad importante en los sonidos periódicos es la longitud de onda, la cual se representa con la letra griega λ y es la distancia entre 2 perturbaciones sucesivas en el espacio. Se mide en metros (m) o centímetros (cm) y corresponde aproximadamente a 17 metros en sonidos muy graves y a 2 cm en sonidos muy agudos (Miyara, 1999).

2.1.1.4. Periodo

Otra importante propiedad en sonidos periódicos el periodo, el cual se lo expresa con la letra mayúscula T , y es el tiempo transcurrido entre una perturbación y la siguiente. Se mide en milisegundos (ms) o segundos (s). El período para sonidos muy agudos varía entre 0,05 segundos y 50 ms para sonidos muy graves. Cabe mencionar que dichos tiempos son muy pequeños para ser percibidos por el cerebro humano como fenómenos independientes (Miyara, 2003).

2.1.1.5. Frecuencia

La frecuencia es el número de ciclos en un determinado tiempo y se considera la propiedad más importante en acústica y sonido. Está definida como el número de ciclos por segundo y su unidad son los hercios (Hz). Las frecuencias tienen

un rango de 20 Hz para los sonidos graves, hasta los 20 KHz en los agudos, para el oído humano (Katz, 2014). La frecuencia está íntimamente ligada con la longitud de onda y con el período, es decir depende de los valores de estas 2 últimas propiedades.

$$f = \frac{1}{T}$$

Ecuación 1

Frecuencia dependiendo del valor del periodo.

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Ecuación 2

Frecuencia dependiente de la longitud de onda y la velocidad del sonido.

2.1.1.6. Amplitud

Otra propiedad importante dentro del sonido periódico, es la amplitud y se define como el máximo valor alcanzado de una onda de determinada frecuencia dentro de una oscilación en un ciclo. Está relacionado con términos sonoros como la fuerza o la intensidad (Everest, 2015). La amplitud suele expresarse en dB cuando se trata de sonido, aunque también se lo suele expresar en términos de voltaje al ser una señal de audio eléctrica. Cabe mencionar que el audio, no es más que la representación eléctrica del sonido, (Miyara, 2003).

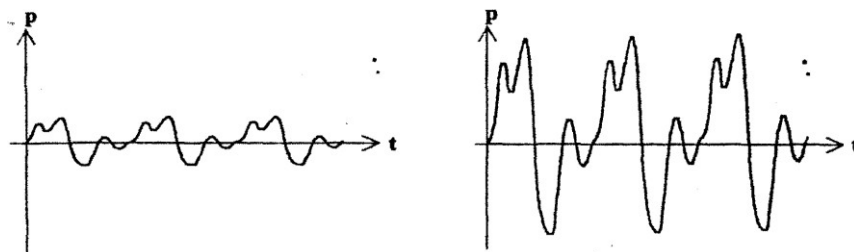


Figura 2. Dos distintas ondas en amplitud, pero con misma frecuencia y forma de onda. Tomado de (Miyara, 2003, p. 13)

2.1.2. Decibelio

Como se mencionó anteriormente, la presión sonora posee una variación de 0,00002 Pa ($20 \times 10^{-6} Pa$) hasta 20 Pa para sonidos audibles. Estos valores mencionados varían demasiado entre el uno y el otro, siendo este último, millones de veces más grande que el primero (Miyara, 2003), lo que resulta muy poco útil en la práctica. Para expresar de una manera más sencilla y fácil de manejar, se usa la escala de decibeles con su nomenclatura dB. Teniendo como una presión de referencia "Pref" a la cifra de: $20 \mu P$ o $0,00002 Pa$, se define la siguiente fórmula:

$$NPS = 20 \log_{10} \frac{P}{Pref} \quad [dB] \qquad \text{Ecuación 3}$$

Tabla 3.

Valores de conversión entre presión en Pascales y niveles de presión sonora, expresados en dB.

Presión [Pa]	NPS [dB]
20	120
6,3	110
3,6	105
2	100
1,1	95
0,63	90
0,36	85
0,2	80
0,11	75
0,063	70
0,02	60
0,0063	50
0,002	40
0,00063	30
0,0002	20
0,00004	10
0,00002	0

Tomado de (Miyara, 2003, p. 187)

2.1.3. Espectro Sonoro

La información más importante que tiene un determinado sonido, son la frecuencia y la amplitud respectivamente. Pero como se mencionó anteriormente, un sonido en la naturaleza posee varias frecuencias en un determinado tiempo, de igual manera un instrumento musical posee un espectro sonoro constituido de varias frecuencias. Cabe recalcar que no siempre la amplitud mayor es el de la frecuencia fundamental y depende mucho de la fuente sonora, sea esta de tipo artificial (sonidos electro-mecánicos como autos, podadoras, sirenas, etc. y de instrumentos musicales) o de tipo natural (truenos, animales, agua, etc.) (Miyara, 1999).

La suma de ciertas frecuencias da como resultado a lo que se denomina como timbre, es decir un sonido característico de una determinada fuente sonora, el cual el oído humano es altamente capaz de diferenciar entre éstas. Por ejemplo, el sonido de la nota musical de un piano puede tener la misma frecuencia fundamental que el de un violín, pero tendrá un espectro sonoro distinto, por lo tanto, tendrá un timbre diferente (Roederer, 2008).

2.1.3.1. Ruido

En el último lugar y dentro del espectro sonoro, existe otro tipo de sonidos, a los cuales se les denomina ruido. Ejemplos de esto, son el sonido del agua en las olas del mar o en una cascada, el ruido de fondo que presenta un vinilo o cassette, el sonido de un taladro o de un motor o simplemente el sonido producido al pronunciar consonantes como las letras f, j o s. (Oullis, 1981). En Acústica existen principalmente dos tipos de ruidos, ambos tienen un espectro frecuencial similar, sin embargo, su amplitud es distinta. Estos ruidos controlados se denominan ruido blanco y ruido rosa. El primero posee una densidad espectral homogénea, es decir posee parciales en todas las frecuencias con amplitud idéntica entre ellas. En segundo lugar, se tiene al ruido rosa, el cual posee una mayor amplitud en frecuencias bajas y a medida que la frecuencia aumenta por factores de octava, la amplitud decrece, mientras que la intensidad sonora se mantiene constante dentro de la octava, es decir desde una nota musical do hasta la siguiente. Este último tipo de ruido es ampliamente usado para

calibración y prueba de equipos de audio o para aplicaciones de ecualización (Mixing To A Pink Noise Reference, s.f).

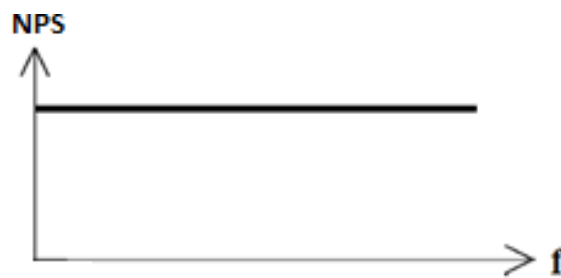


Figura 3. Ruido blanco con igual amplitud en todas las frecuencias

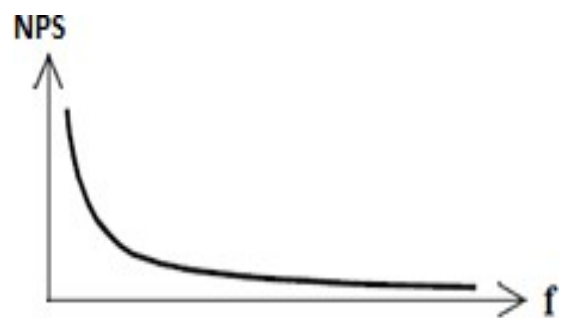


Figura 4. Ruido rosa con densidad espectral descendiente según la frecuencia

2.2. Psicoacústica

La Psicoacústica es la rama de la Acústica, encargada de estudiar la percepción del sonido en el oído humano. En otras palabras, como se interpreta y se procesa la información que viaja y llega al sistema auditivo y como el cerebro la procesa (Miyara, 1999).

Cuando se escucha un sonido, este provoca ciertas sensaciones en el ser humano, las cuales están clasificadas en la altura, la sonoridad y el timbre, estas a su vez están asociadas directamente con la frecuencia, la amplitud y el espectro. La altura es la que provoca la sensación en el cerebro de si un sonido es grave, medio o agudo, en segundo lugar, la sonoridad, es la que define si un sonido es fuerte o débil y por último la del timbre es la que define el tipo de sonido característico de una fuente sonora, como por ejemplo un instrumento musical, el dónde una misma nota musical, provocará una distinta sensación psicoacústica, de igual forma lo mismo pasa con las voces de las personas (Miyara, 1999).

2.2.1 Altura

Es la relación directa entre la frecuencia y la percepción tonal. Las bajas frecuencias, corresponden a sonidos graves y las altas a sonidos agudos. Sin embargo, no es del todo cierto ya que las sensaciones provocadas dependen también de la intensidad a la que se someta cierta frecuencia específica (Roederer, 2008).

2.2.2. Sonoridad

La sonoridad es otro parámetro importante dentro la Psicoacústica, relacionado directamente con la intensidad o la amplitud. Es la fuerza con la que se percibe un sonido, en otras palabras, si este es débil o fuerte y aunque presenta una relación con la amplitud de una onda, esta relación no es tan precisa como la que se percibe entre frecuencia y altura, siendo en diferentes frecuencias de idéntica amplitud, una distinta sonoridad.

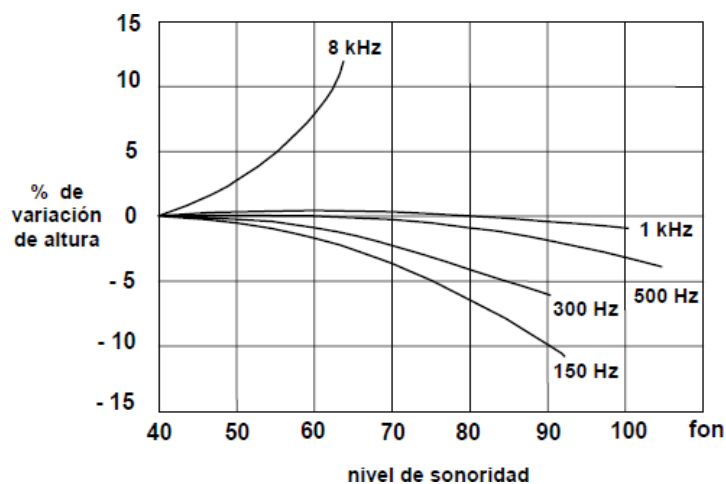


Figura 5. Variación porcentual de la altura con el nivel de sonoridad (percibido por el oído humano) según la frecuencia. Tomado de (Miyara, 1999, p. 28)

Una de las primeras investigaciones que se ha realizado para demostrar este hecho, fue el trabajo realizado por los norteamericanos Fletcher Y Munson en 1933. En su investigación, hicieron participar a varias personas Ontológicamente normales, es decir personas sanas y de buena audición, en donde a ellas se les hizo escuchar distintos tonos puros (frecuencias senoidales), por ejemplo, un tono puro de 1 Khz a 40 dB, para luego enviarles otro de 200 (o cualquier otro), posteriormente se les pedía a los participantes, ajustar el volumen hasta que

percibieran una sonoridad igual a la de 1 KHz. Este ejercicio se practicó en diferentes frecuencias y niveles, dentro del rango audible, para de esta manera obtener las curvas de igual nivel de sonoridad o mejor conocidas en ámbito acústico como Curvas de Fletcher y Munson. Cabe mencionar que se trabajó a partir de un tono puro de 1000 Hz y después se envió el resto de frecuencias, siempre comparándolo con el tono indicado de 1 KHz (Miyara, 1999, p. 36).

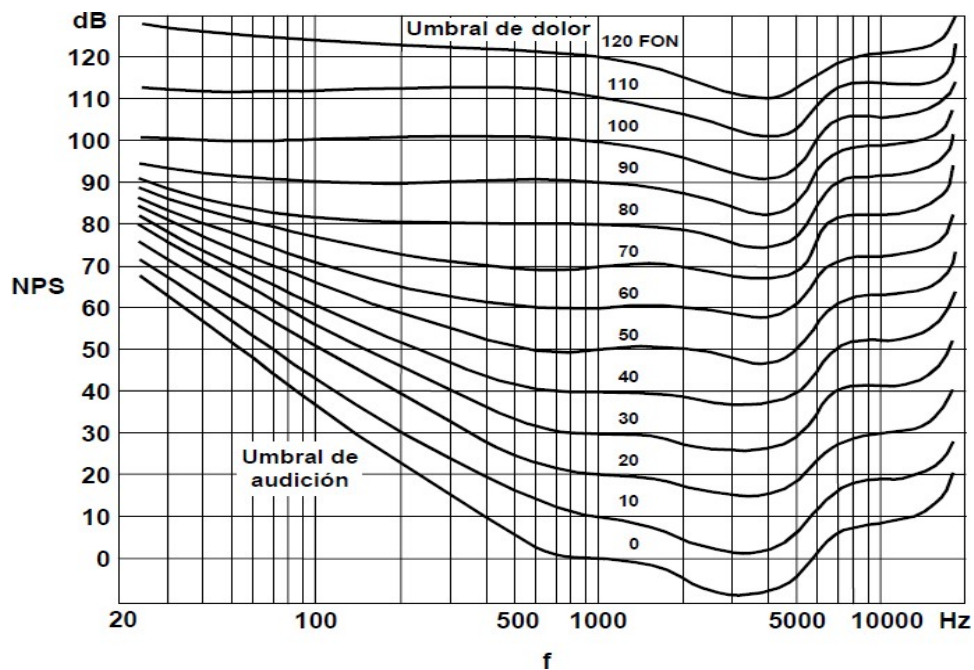


Figura 6. Curva de Fletcher y Munson. Tomado de (Katz, 2014, p. 124)

Se puede apreciar en el gráfico anterior que un tono de 200 Hz a 30 dB se percibe de la misma manera que uno de 1000 Hz a 10 dB (NS = 20 fon). Lo mismo ocurre con otras frecuencias y niveles. Véase que, en el gráfico, las curvas tienden a subir en frecuencias bajas hasta los 80 dB, a partir de ese nivel el oído se comporta de manera aproximadamente lineal hasta los 1 KHz. Lo mismo ocurre con las frecuencias altas. En otras palabras, sonidos graves de baja frecuencia y muy agudos de frecuencia alta, poseen menor nivel de sonoridad que las frecuencias medias. Las curvas de 0 fon y 120 fon, representan el umbral auditivo y el umbral del dolor respectivamente (límites de audición en el oído humano y límite máximo antes de percibir molestia)

La abreviatura usada para diferenciar el nivel de presión sonora con el nivel de sonoridad percibido es el FON. La curva correspondiente a 0 fon, es el umbral

auditivo para personas con buena audición y una pérdida auditiva de 10 a 20 dB, se considera estadísticamente normal según la normativa UNE-EN ISO 7029 de la Distribución estadística de los umbrales de audición en función de la edad. Pérdidas mayores a 25 dB, representan ya pérdida auditiva y comienzan problemas y dificultades de comprensión de la palabra entre otros. La curva de 120 fon, representa el umbral del dolor, por encima de ese valor, aunque se puedan percibir los sonidos todavía, estos presentan una intensidad muy elevada, la cual provoca una sensación de dolor y molestia, que puede desencadenar un daño irreversible en la estructura del oído interno (Beranek, 1986).

En la actualidad las curvas de Fletcher y Munson fueron remplazadas por otras de mayor precisión como las de Robinson y Dadson. Estas son usadas como remplazo de las primeras y poseen un amplio uso de referencia en psicoacústica. Poseen además una normalización internacional según la normativa UNE ISO 226:2013, en donde en la última legislación realizada en el año 2013, tiene unas ligeras correcciones en frecuencia baja.

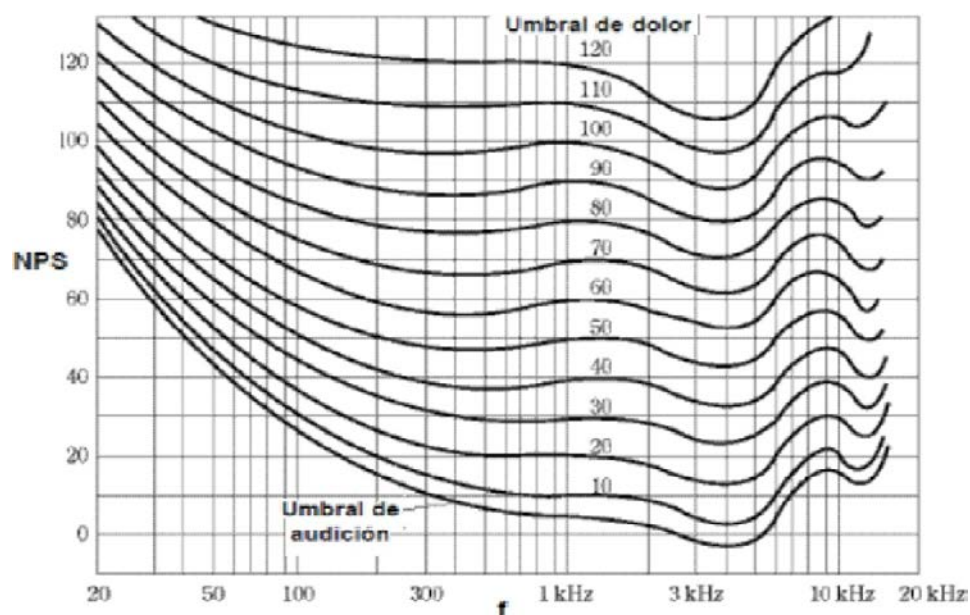


Figura 7. Curvas de Robinson y Dadson (1956), presenta además una ampliación en el rango frecuencial hasta 20 KHz. Tomado de (Everest, 2015)

A continuación, un gráfico superpuesto entre ambas curvas para apreciar la diferencia isofónica:

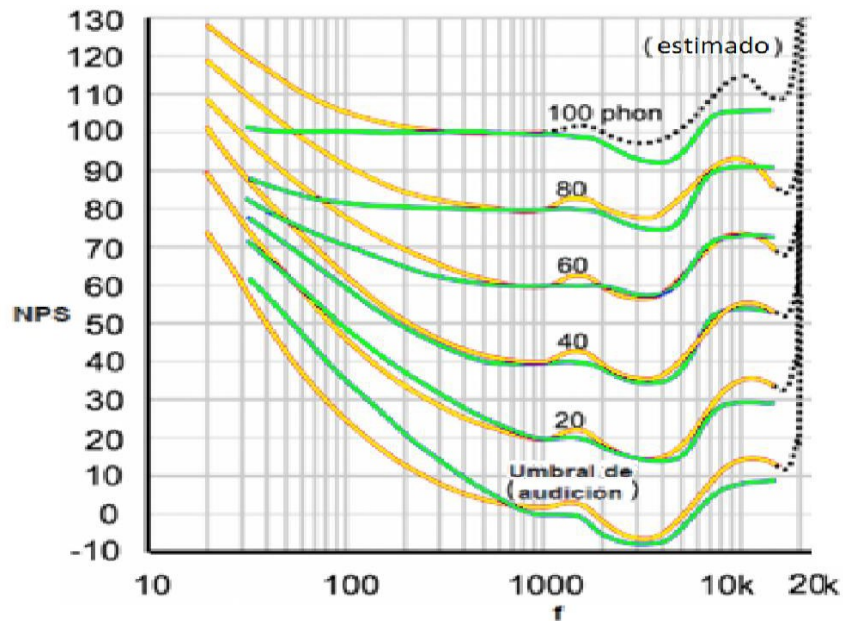


Figura 8. Comparativa entre la curva de Fletcher Y Munson (color verde) y la curva de la normativa ISO 226 (color amarillo), basada en la curva de Robinson y Dadson. Adaptado de (UNE ISO 226:2013, 2013)

Según lo explicado y gracias a las investigaciones realizadas por Fletcher y Munson de que el oído trabaja de tal manera, se creó una nueva escala de medición de dB, basada en la curva de sonoridad del oído humano. El resultado son los dBA o decibeles A, los cuales tienen un comportamiento similar al oído. Los dispositivos que poseen tal característica de medición como los sonómetros, tienen un filtro denominado decibelímetro, que atenúa las frecuencias bajas entre otras, tal y como lo hace el oído. Sin embargo, este hecho se encontró con varias dificultades y una de estas fue de que no existe únicamente una curva de Fletcher y Munson, sino varias y que cada una de estas, corresponde a un distinto nivel de sonoridad (Miyara, 2008). Esto llevó a la propuesta de otras 2 curvas de ponderación B y C. La ponderación A, válida para para niveles de sonoridad en torno a los 40 fon equivalentes a 40 dB en una frecuencia senoidal de 1 Khz, la curva B para niveles cercanos a los 70 fon y la última C para niveles del orden de los 100 fon (Miyara, 1999).

Tabla 4.

Valores correspondientes de NPS a las correcciones aplicadas en las curvas de ponderación A, B y C.

Frecuencia [Hz]	Curva A [dB]	Curva B [dB]	Curva C [dB]
12,5	-63,4	-33,2	-11,2
25	-44,7	-20,4	-4,4
63	-26,2	-9,3	-0,8
80	-22,5	-7,4	-0,5
100	-19,1	-5,6	-0,3
125	-16,1	-4,2	-0,2
160	-13,4	-3,0	-0,1
200	-10,9	-2,0	0,0
250	-8,6	-1,3	0,0
315	-6,6	-0,8	0,0
400	-4,8	-0,5	0,0
500	-3,2	-0,3	0,0
630	-1,9	-0,1	0,0
800	-0,8	-0,0	0,0
1000	0,0	0,0	0,0
1250	0,6	-0,0	0,0
1600	1,0	-0,0	-0,1
2000	1,2	-0,1	-0,2
2500	1,3	-0,2	-0,3
3150	1,2	-0,4	-0,5
4000	1,0	-0,7	-0,8
5000	0,5	-1,2	-1,3
8000	-1,1	-2,9	-3,0
10000	-2,5	-4,3	-4,4
12500	-4,3	-6,1	-6,2
16000	-6,6	-8,4	-8,5
20000	-9,3	-11,1	-11,2

Adaptado de (IEC 651/79)

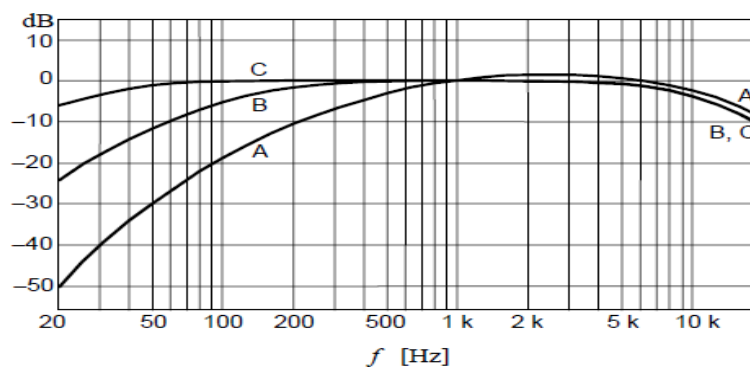


Figura 9. Curvas de Ponderación A, B y C en resultado a la tabla número 3.

Tomado de (Miyara, 2004, p. 56)

En el gráfico anterior todas las curvas cruzan en 0 dB.

No se debe confundir entre nivel de sonoridad y nivel sonoro, ya que el nivel de

sonoridad, es un parámetro psicoacústico creado por los investigadores Fletcher y Munson, mientras que el otro parámetro es el nivel resultante, aplicado el filtro para la obtención de dBA.

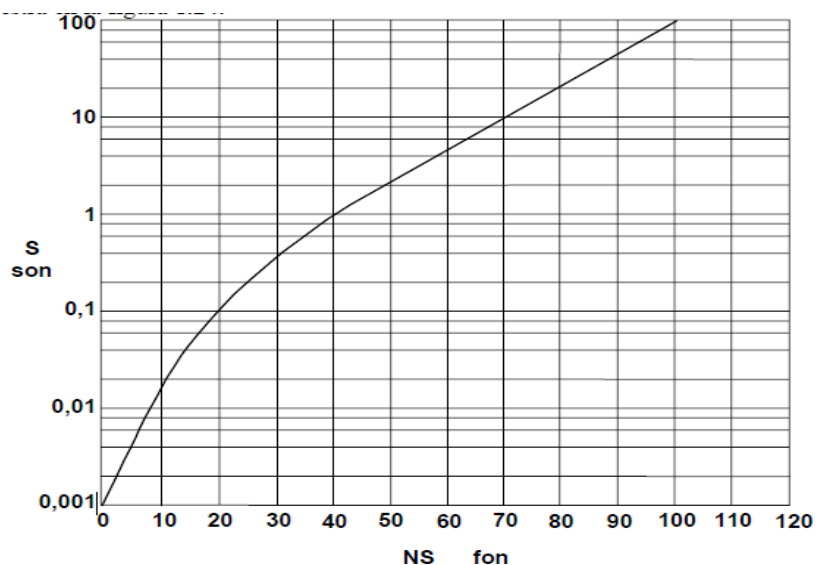


Figura 10. Relación entre sonoridad (son) y nivel de sonoridad (fon). Tomado de (Miyara 2003, p. 58)

Nota: Nótese la linealidad que existe a partir de 40 fon en el gráfico

Es importante indicar que la respuesta auditiva, varía de persona a persona y que depende de muchos factores, tales como la edad, los antecedentes o la exposición al ruido, y que las curvas de F. y M y las curvas de la normativa ISO 226:2013, no son más que una aproximación estadística para los umbrales auditivos (Cabaní, 2005).

Tabla 5.

Comparativa de un determinado nivel de presión sonora, según la frecuencia con parámetros de nivel de sonoro y sonoridad.

f_i [Hz]	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NPS_i [dB]	43,5	46,5	49,5	52,5	55,5	58,5	61,5	64,5	67,5
NS_i [fon]	-	-	22	42	55	58,5	62	67	55
S_i [son]	-	-	0,15	1,2	3,2	4,1	5,4	7,9	3,2

Tomado de (Miyara, 2003, p. 62)

Por otro lado, cabe mencionar que cada ambiente específico posee un distinto nivel sonoro.

Tabla 6.

Distintos niveles sonoros promediados según la curva de ponderación dBA, para ciertos típicos ambientes y fuentes.

FUENTE	NS (dBA)
Umbral de dolor	120
Discoteca a todo volumen	110
Martillo neumático a 2 m	105
Ambiente industrial ruidoso	90
Piano a 1 m con fuerza media	80
Automóvil silencioso a 2 m	70
Conversación normal	60
Ruido urbano de noche	50
Habitación interior (día)	40
Habitación interior (noche)	30
Estudio de grabación	20
Cámara semi anecoica	10
Umbral de audición a 1 kHz	0

Adaptado de (Everest, 2015, p. 234)

2.2.3. Timbre

Otra importante característica dentro de la percepción humana auditiva, es el timbre. Está relacionado de manera casi directa con el espectro sonoro y se considera uno de los mayores parámetros perceptivos en cuanto a distinguir sonidos se trate (Roederer, 2008). Según la Asociación americana de normalización, el timbre es el atributo que posee el oído para distinguir 2 sonidos de igual frecuencia y amplitud, como por ejemplo el sonido de una misma nota musical a una misma amplitud, pero en distintos instrumentos musicales. El timbre depende de mayoritariamente del espectro sonoro, pero también en menor medida de la forma de onda, el nivel de presión sonora, la ubicación frecuencial de la fundamental y las características temporales del estímulo (Ballou, 2015).

2.2.4. Direccionalidad del Sonido

Dentro de la Psicoacústica existe otro parámetro, el cual permite al oído humano, distinguir el origen en ubicación de un sonido. Los factores que permiten posible esto son primeramente la diferencia de tiempo en la que el sonido proveniente de una fuente llega a un oído en relación al otro.

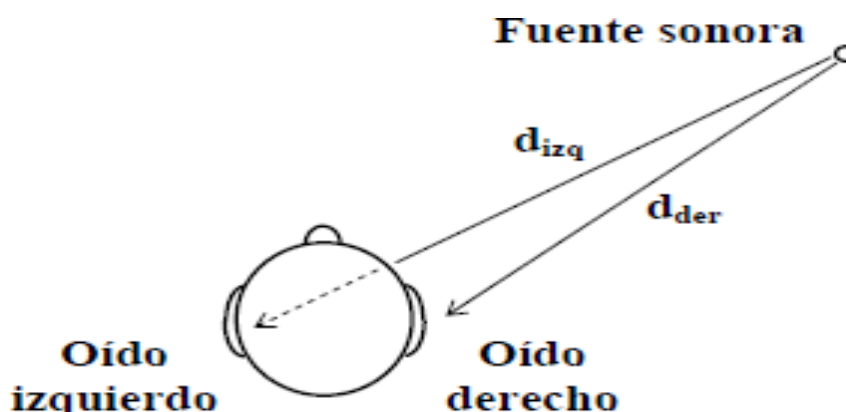


Figura 11. Diferencia de distancia recorrida entre el oído derecho y el oído izquierdo. Tomado de (Miyara, 2003, p. 28)

Nota: En este caso la distancia es menor para el oído derecho: $d(\text{der}) < d(\text{izq})$. Llamado también efecto de precedencia.

2.2.5. Espacialidad

Es la sensación provocada en el ser humano al ser expuesto a un sonido en un ambiente determinado. Los factores que constituyen parte de la espacialidad, son la distancia entre la fuente sonora y el individuo, así como el tipo de fuente y el conocimiento previo que se tenga de esta, por ejemplo, la voz de un familiar o de un instrumento musical y el movimiento de la fuente, el cual puede provocar una percepción distinta entre frecuencias altas y bajas a medida que se aleja del oído (Efecto Doppler, en donde las frecuencias fijas, parecen cambiar). Las primeras reflexiones, desencadenan otras reflexiones y estas a su vez otras. Este proceso ocurre de manera sucesiva hasta que los niveles de energía descienden hasta 0. Este proceso tiene el nombre de reverberación y es un parámetro ampliamente usado en acústica (Miyara, 2003).

2.2.6. Enmascaramiento

Otra propiedad dentro de la percepción auditiva, es el enmascaramiento. Significa la superposición de un sonido sobre otro hasta el punto de transformarlo en imperceptible para el oído. Un ejemplo común, es al tener una conversación con una persona, muchas veces en un ambiente ruidoso, no se discierne y no

se logra entender lo que habla, esto precisamente es debido a la superposición o enmascaramiento del ruido a la voz de la persona que transmite la palabra. Otro ejemplo común, es con el uso de reproductores portátiles de música, aumentando el nivel de presión sonora o volumen en los audífonos hasta el punto de sepultar el sonido del exterior, sea éste un ambiente ruidoso como por ejemplo un autobús, (Miyara, 2003).

Esta cualidad es propia del oído y no del sonido en sí (Moore, 2012). El enmascaramiento produce un cambio en la curva del umbral auditivo, la cual, dependiendo del sonido o tono de enmascaramiento, produce tal cambio en el umbral de una persona. Ejemplificando, un tono de 400 Hz en distintos niveles, provocará un desplazamiento del umbral, es decir a mayor nivel en el tono, éste tenderá a enmascarar a los otros tonos y frecuencias, los cuales tendrán que tener mayor intensidad para ser percibidos. Cabe mencionar que, a mayor amplitud del tono de enmascaramiento, este tendrá más influencia a las frecuencias aledañas en un efecto campana dentro del umbral, en donde a mayor amplitud en el tono de enmascaramiento, mayor, el número de frecuencias cercanas que se verán afectadas (Miyara, 2003).

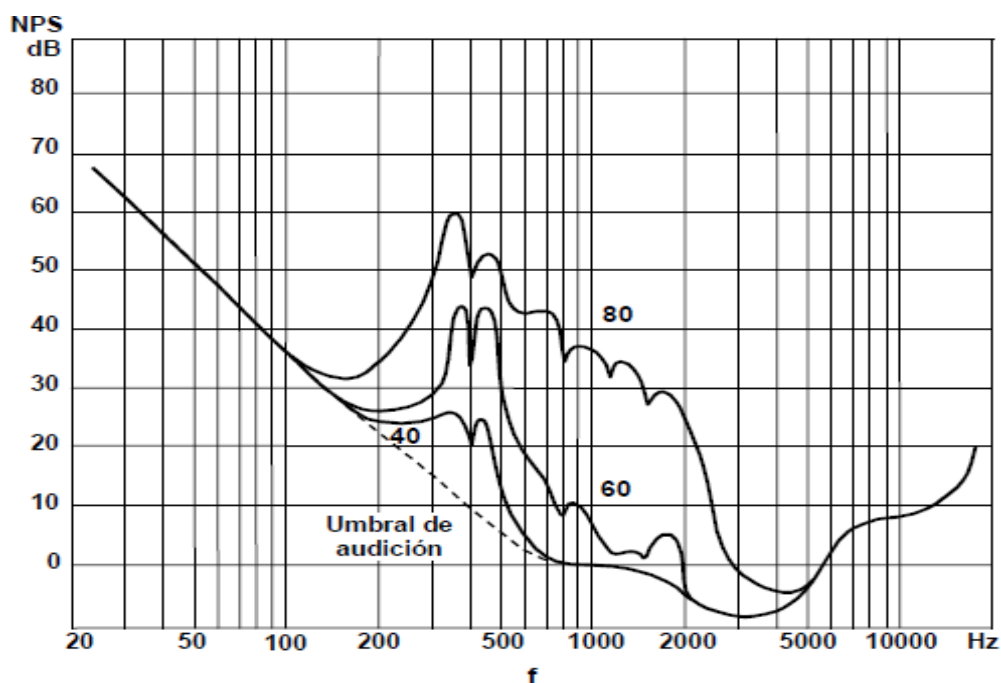


Figura 12. Curvas de umbral auditivo con una frecuencia de enmascaramiento de 400 Hz (Según Egan, Harold y Hake) a niveles de 40, 60 y 80 dB correspondientemente. Tomado de (Miyara, 2003, p. 78)

A mayor amplitud de enmascaramiento, mayor será el desplazamiento del umbral auditivo y más nivel tendrán que tener las otras frecuencias para ser distinguidas y percibidas por el oído.

Por otro lado, esto puede ser de gran utilidad para el cerebro humano, ya que desechará toda la información inútil que existe alrededor. Una ventaja también es el amplio uso de la teoría del enmascaramiento en el audio digital, ya que muchos tonos de baja amplitud son eliminados porque no son perceptibles para el oído, de tal manera que son optimizados de esta forma y ocupan poco espacio de almacenamiento (Miyara, 1999)

Por último, una aplicación bastante útil, es en el campo de la audiolgía para enmascarar tonos puros enviados a un solo oído y que la información no llegue al otro oído. De esta forma se puede obtener una curva de capacidad auditiva con menor margen de error a la que es formada sin usar enmascaramiento (Katz, 2015)

2.2.7. Fatiga Auditiva

Al ser expuesto uno o ambos oídos a un tono continuo y de larga duración (varios minutos u horas), se produce una sensación de agotamiento en el sistema de auditivo (Beranek, 1986). Esta propiedad se denomina fatiga auditiva y consiste en que se percibe el tono con una menor sonoridad a través del tiempo, es decir tras varios minutos u horas de exposición, el volumen al cual se sometió al oído en un inicio, parece perder intensidad. Esto es muy común en lugares como discotecas en donde el nivel de presión sonora es elevado y al transcurrir el tiempo, este nivel ya no parece tan alto. Lo mismo ocurre con los reproductores portátiles de música, en donde el usuario continúe elevando el volumen del dispositivo, tras sentir que éste ya no es tan fuerte como al comienzo. De igual forma, éste fenómeno es la razón por la que muchos empleados que estén expuestos a ruidos constantes de maquinarias, se acostumbran fácilmente a dicha exposición (Beranek, 1986).

Umbral Auditivo	Tonos Puros	
	Entrenados	Expuestos
Molestia	110	120
Cosquilleo	132	140
Dolor	140	140
Daño Inmediato	150	160

Figura 13. Umbral de Tolerancia entre un oído expuesto a altos niveles de ruido a diario y un oído recién expuesto. Adaptado de (Beranek, 1986, p. 45)

Según el gráfico anterior, la resistencia del oído acostumbrado es 10 dB más que en el otro.

Por otro parte, un oído expuesto a distintos niveles de presión sonora, se fatiga rápidamente en los primeros segundos, provocando una percepción menor a la inicial como se puede evidenciar en el siguiente gráfico:

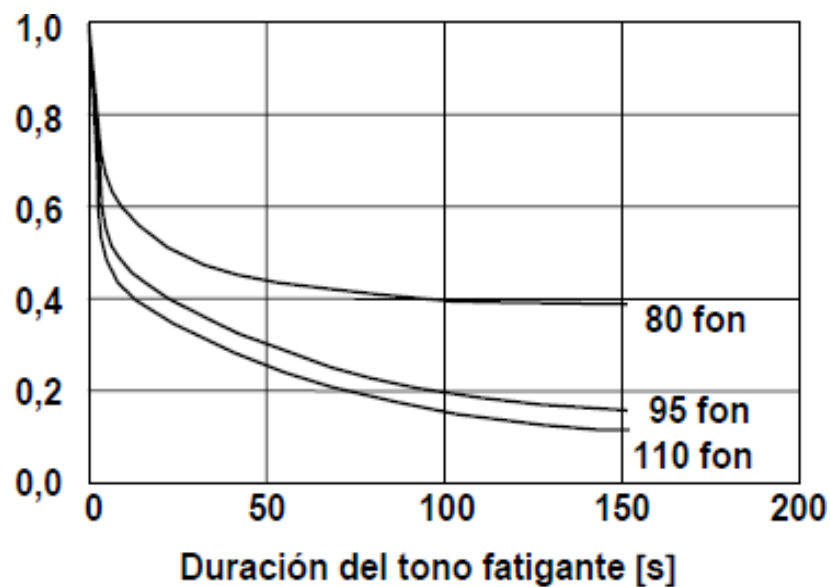


Figura 14. Disminución relativa de 3 curvas de sonoridad en relación a la sonoridad inicial a través del tiempo (segundos). Tomado de (Miyara, 2003, p. 76)

2.2.8. Ruido

Dentro de la psicoacústica, se considera ruido a un sonido molesto e indeseado que enmascara a la información útil. Por ejemplo, el ruido de los autos, del caminar de las personas, del ambiente, de las personas hablando, ruido de maquinaria etc. Este tipo de ruido, denominado ruido acústico es esencial mantenerlo por debajo del umbral auditivo si se trata de zonas hospitalarias, escuelas o bibliotecas entre otras, para no repercutir en la inteligibilidad de la palabra y problemas en la salud (Merino, 2006).

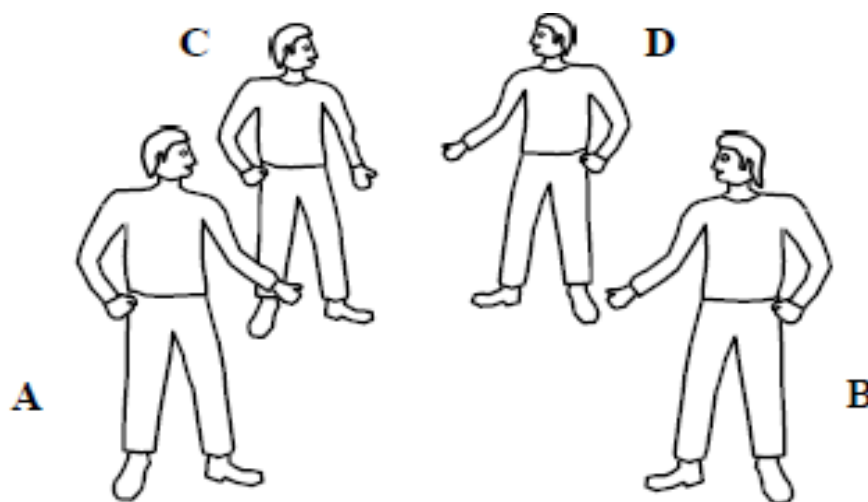


Figura 15. Conversación de cuatro individuos, en donde C y D mantienen una conversación al igual que los individuos A y B. Lo que hablan C y D se considera ruido y enmascara la información útil para A y B y viceversa. Tomado de (Miyara, 2003, p. 45)

Según el nivel y duración se los clasifica de la siguiente manera (Sound, 2000):

- **Continuo estable:** Posee un NPS estable y uniforme, con una variación de ± 2 dB en un tiempo determinado.
- **Continuo fluctuante:** Presenta niveles considerables de fluctuaciones de presión sonora en períodos de tiempo cortos.
- **Intermitente:** Tiene niveles moderados de presión sonora, no mayores a 15 minutos y con variaciones de ± 3 dB.
- **Impulsivo:** Se caracteriza por tener pronunciadas variaciones de NPS con picos altos en tiempos bastante cortos. Es el que mayor daño puede producir al oído.

2.2.9. Características del habla

El habla del ser humano posee ciertas características particulares, que la hacen única y diferente a otro tipo de sonidos, tales como la música o fuentes artificiales o naturales. Existen tres aspectos importantes que se analizan dentro del habla. Estos son direccionalidad, y área de audición basada en el rango de frecuencias y amplitud (Everest, 2015).

2.2.9.1. Direccionalidad del habla

La intensidad de los sonidos dentro del lenguaje hablado, no poseen la misma fuerza en todas las direcciones. La respuesta direccional obtenida es de carácter cardiode, es decir desde el punto de la boca hacia delante y pierde energía según el ángulo de inclinación y la distancia. Existe una respuesta distintiva entre una banda específica de 1400 a 2000 Hz y otra para la banda de 125 – 250 Hz, la cual cubre aproximadamente 5 dB más que la primera banda en la parte posterior de la cabeza (Everest, 2015).

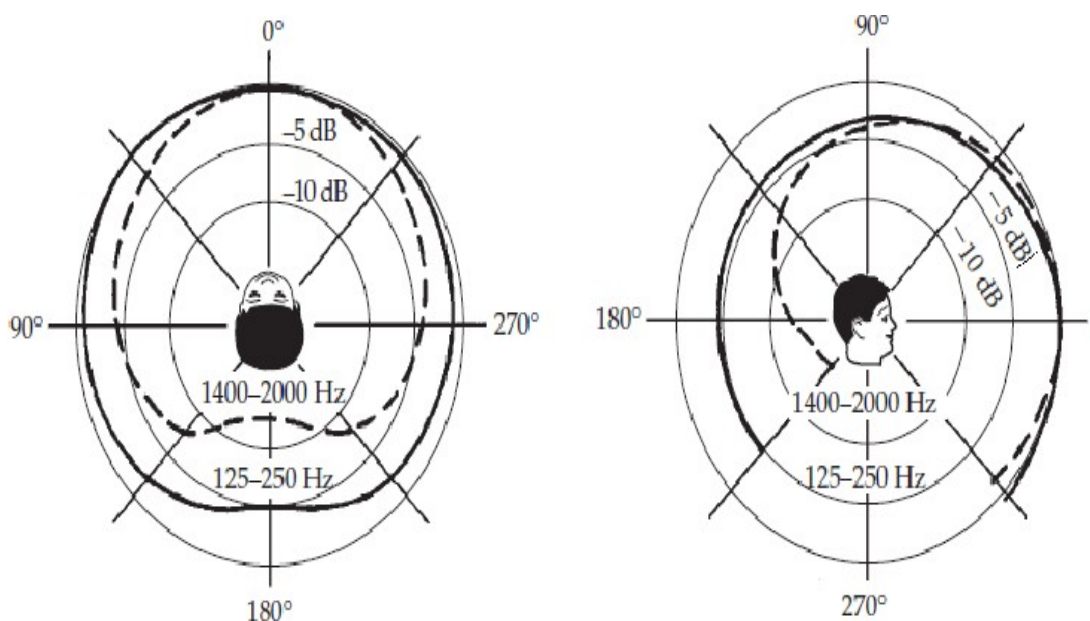


Figura 16. Direccionalidad de la voz humana (altamente direccional).

Tomado de (Everest, 2015p. 126)

Nota: En línea punteada, la respuesta de 1400 a 2000 Hz y en línea continua, de 125 a 250 Hz. Lado izquierdo, vista superior y lado derecho, vista lateral de la cabeza humana.

2.2.9.2 Área de Audición del lenguaje

El Área de audición del lenguaje, tiene un rango dinámico de máximo 42 dB, cubre un ancho de banda frecuencial de casi 3800 Hz, que van desde 170 hasta 4000 Hz y en cuanto a amplitud comprende un espacio desde 40 a 80 dB aproximadamente (Everest 2015).

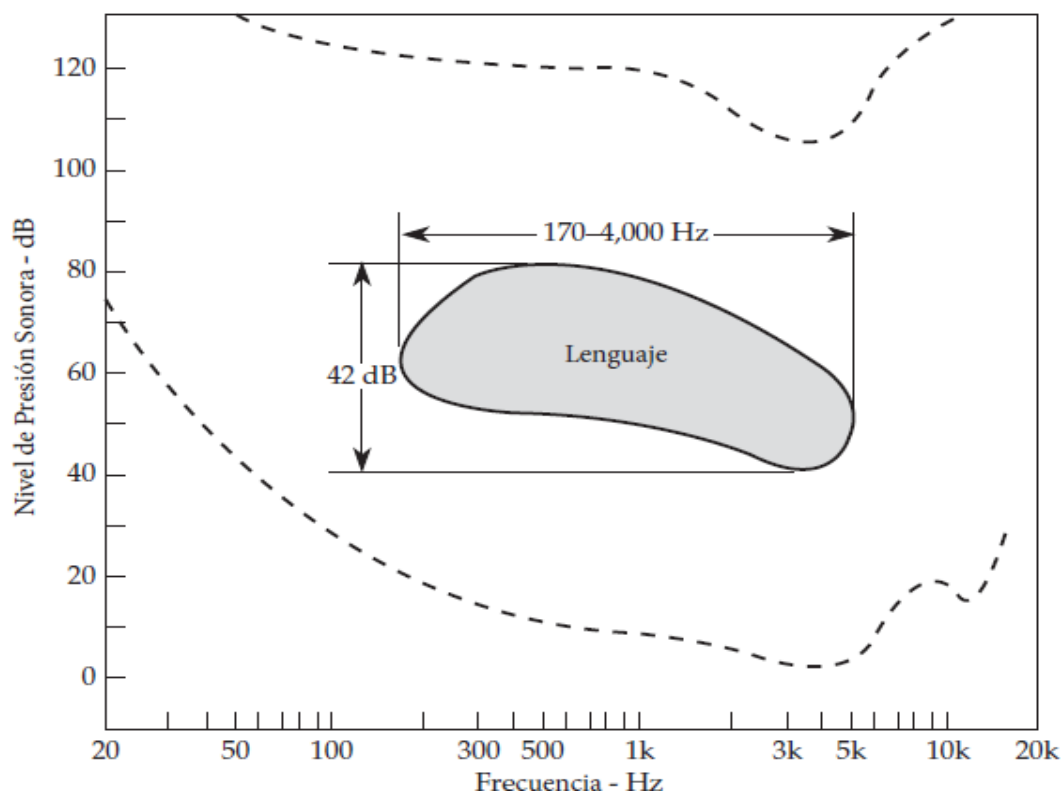


Figura 17. Parte utilizada del lenguaje dentro de la región auditiva. Tomado de (Everest, 2015, p. 112)

Teniendo en cuenta el anterior gráfico, se puede concluir que las frecuencias más importantes para la inteligibilidad de la palabra, son en su mayoría las frecuencias medias. Por otro lado, una persona con una significativa pérdida auditiva, tendrá todavía la posibilidad de comprender a otras personas y por ende comunicarse.

2.3. Acústica Musical

Existe una rama dentro de la acústica y la psicoacústica, la cual estudia el comportamiento de todos los instrumentos musicales y la relación de estos con

las sensaciones provocadas en el ser humano (físicas y emocionales). Esta rama se denomina Acústica Musical (Miyara, 2003).

2.3.1. Instrumentos Musicales Acústicos

Los instrumentos musicales se clasifican según el modo de generación de vibración, en otras palabras, según el tipo de creación de sonido. Se dividen por lo tanto en instrumentos de cuerda, viento y percusión. Cabe recalcar que instrumentos electrónicos como sintetizadores, quedaran descartados ya que el estudio se centra en músicos dedicados a instrumentos acústicos (Miyara, 2003).

2.3.1.1. Instrumentos de cuerda

El sonido de estos instrumentos nace a través de una cuerda vibratoria. Existen tres formas de poner a la cuerda en vibración: por medio de percusión, por medio de punteo y por último por medio de frotado (Kuttruff, 2006). La primera consiste en golpear las cuerdas, este es el caso del piano, en donde las teclas tocadas, se transforman en un mecanismo, el cual consiste en un martillo que toca las cuerdas internas del instrumento. En segundo lugar, existen las de punteo, las cuales consisten en trasladar la cuerda de su posición de reposo para posteriormente soltarla, un ejemplo son las guitarras. Y en tercer lugar aquellos por medio de frotado, los cuales consisten en rozar la cuerda del instrumento con un objeto a base de un material de alta adherencia para colocar en vibración a la cuerda en el acto (Kuttruff, 2006).

Al momento en que la cuerda entra en vibración, transmite cierta energía directamente al aire, pero la mayor parte de esta energía viaja a través del puente hacia una final tabla con una amplia superficie, la cual se denomina, caja armónica y amplifica el sonido (Miyara, 1999).

2.3.1.2. Instrumentos de viento

Existe otro tipo de instrumentos que emiten sonido, por medio de vibración en un tubo de aire, estos son los instrumentos de viento. El aire que está contenido dentro del tubo, recibe a la onda sonora, la cual es reflejada varias veces en el interior, produciendo así el sonido (Kuttruff, 2006).

Existen dos procesos por los cuales el sonido es provocado. El primero es debido a una serie de obstáculos dentro del tubo, los cuales poseen ciertas formas de remolino, para posteriormente entrar en resonancia con el tubo en sí para amplificar la onda sonora. Instrumentos como la flauta, poseen este tipo de mecanismo. El segundo es por medio de la lengüeta, la cual obstruye el paso del aire, provocando un aumento en la presión para posteriormente pasar a una descompresión, este proceso se repite múltiples ocasiones, produciendo de esta manera el sonido (Kuttruff, 2006).

2.3.1.3. Instrumentos de Percusión

El principio de funcionamiento de este tipo de instrumentos, es básicamente la de golpear objetos para producir sonido. Existen de dos tipos, el primero, son de altura establecida como la marimba o los xilófonos y los de altura indeterminada, que son generalmente los bombos o tambores o platillos. La principal diferencia con los otros tipos de instrumentos, es que estos poseen un espectro no armónico y su altura es indeterminada en el caso de que sean de gran intensidad (Miyara, 1999). Para los instrumentos de altura establecida, estos poseen una columna de aire, la cual filtra los inarmónicos y acentúa la frecuencia fundamental. Tienen una aplicación mayoritariamente de base rítmica a excepción de los de altura predeterminada (Miyara, 1999).

2.3.2. Consonancia y disonancia

Existe un efecto denominado batimento, el cual consiste en superponer dos sonidos de frecuencias fundamentales muy cercanas entre sí, por ejemplo, DO y RE dentro de la misma octava musical, lo que produce una variación o fluctuación periódica en la amplitud, llamada también disonancia (Miyara, 1999).

La consonancia por otro lado es una superposición de dos o más notas musicales iguales (unísono) o con una relación de frecuencias fundamentales de 2 a 1 (octava musical). También existe consonancia en acordes de quinta, que poseen una relación de 3 a 2, y sus armónicos tienen máximo una diferencia de 1,5 veces entre las notas musicales.

Otros acordes que poseen consonancia, pero en un menor nivel son los siguientes: Cuarta Justa con una relación de frecuencias de 4:3, tercera mayor

(5:4), tercera menor (6:5), sexta mayor (5:3) y sexta menor con una relación de 8 a 5.

2.3.3. Área de Audición de la música

El Área de audición de la música, es mucho más amplia que el del lenguaje. Este posee un rango dinámico de 75 dB, cubre un ancho de banda frecuencial de más de 8000 Hz, que van desde 50 hasta 8500 Hz y en cuanto a amplitud comprende un espacio desde 40 a 80 dB de Nivel de Presión sonora aproximadamente (Everest, 2015).

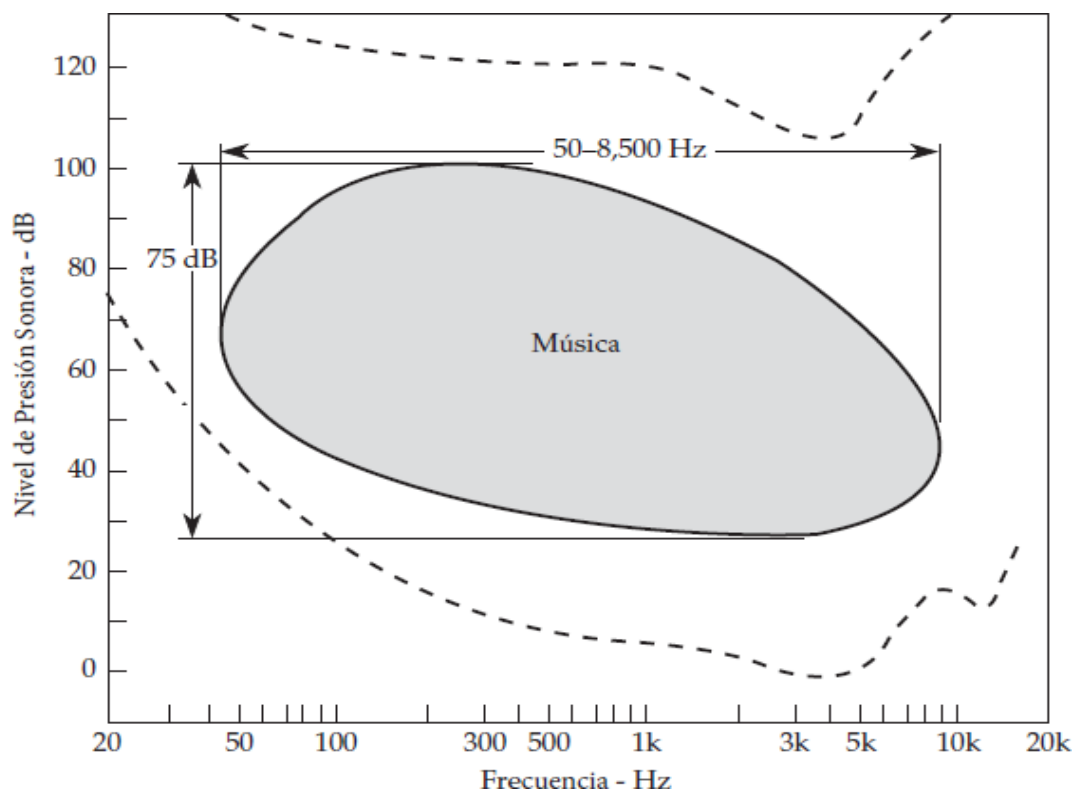


Figura 18. Porción utilizada de la música dentro de la región auditiva. Tomado de (Everest, 2015, p. 124)

Nota: Las líneas punteadas, representan el umbral auditivo y el umbral del dolor, respectivamente.

2.3.4. Potencia

La potencia, se define como la energía producida por una fuente sonora a través del tiempo. La voz humana posee una potencia de 20 uW con picos de hasta

200 μ W. Esta energía se concentra mayoritariamente en bajas y medias frecuencias, por debajo de 500 Hz con alrededor del 80% y un poco también en frecuencias inferiores a 100 Hz

En cuanto a la música, ésta produce mucha más energía y potencia que la voz humana. Instrumentos de viento como la trompeta, tienen un valor de 6 W, mientras que una orquesta sinfónica llega a los 70 W.

Tabla 8. *Potencia de varios instrumentos usados en una orquesta sinfónica*

Potencia Pico de varios instrumentos (W)	
Orquesta Completa	70
Bombo de Batería	25
Órgano	13
Caja	12
Cimbales	10
Trombón	6
Piano	0.4
Trompeta	0.3
Saxofón Bajo	0.3
Tuba	0.2
Contrabajo	0.16
Piccolo	0.08
Flauta	0.06
Clarinete	0.05
Trompa (Corno Francés)	0.05
Campanilla	0.05

Tomado de (Everest, 2015, p. 79)

Para calcular el nivel de potencia de una fuente sonora en decibeles, a un metro de distancia, se usa la siguiente ecuación:

$$P(dBm) = 10 \log \frac{P(mW)}{1mW}$$

Ecuación 4

El Nivel de Potencia, también expresado como LW, puede ser mostrado en función del matiz musical, es decir del nivel de intensidad con el que se toque el instrumento, siendo “p” o piano, un nivel de intensidad bajo y “f” o forte, un nivel de intensidad de interpretación fuerte con mayor nivel de presión sonora.

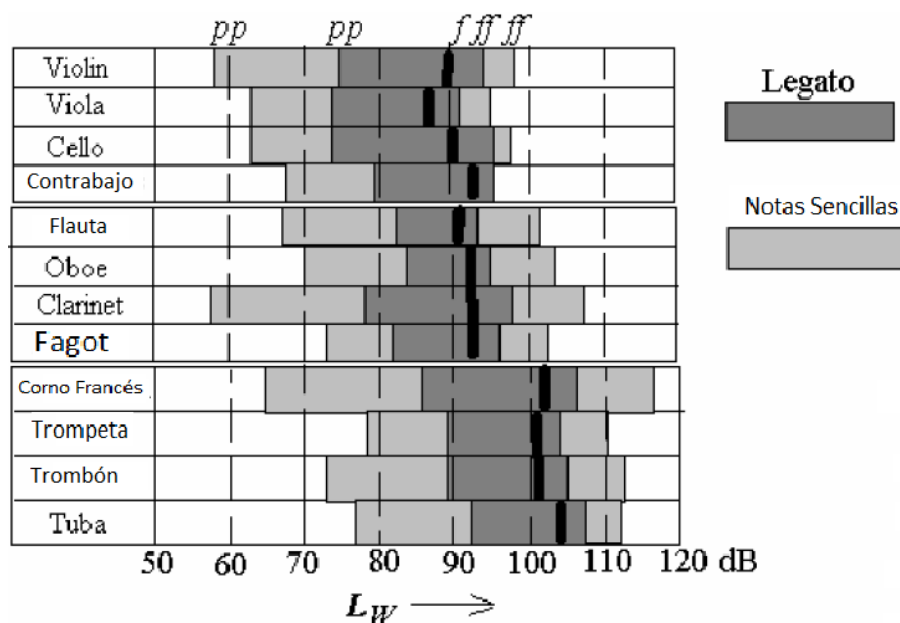


Figura 19. Nivel de Potencia en decibeles de varios instrumentos musicales sinfónicos. Adaptado de (Kostek, 2005)

Nota: Legato es un signo de expresión, el cual ejecuta un grupo de varias notas musicales sin interrupción.

2.4. Género Musical

A pesar de la subjetividad de la definición de la música, es posible definirla en tres aspectos principales: primero su función como pueden ser música de danza o música de cine, segundo por su instrumentación (vocal, electrónica, etc.), según su aspecto cultural o popular y finalmente por su composición musical (armonía, melodía, ritmo, etc.) (Starr, 2007).

Para el desarrollo de esta tesis, se centrará en estos dos últimos aspectos debido principalmente a que los criterios que se analizarán, tomando en cuenta que el tipo de música que interpretan los participantes, es música occidental, fundamentalmente por la escala musical que se utiliza, explicada anteriormente en acústica musical. En segundo lugar, en cuanto al contexto histórico, serán la música clásica y la música contemporánea y los géneros musicales pertenecientes a ésta última y que los estudiantes de la escuela de música de la UDLA aprenden, como son: Jazz, Blues, Rock, Salsa, Pop, entre otros.

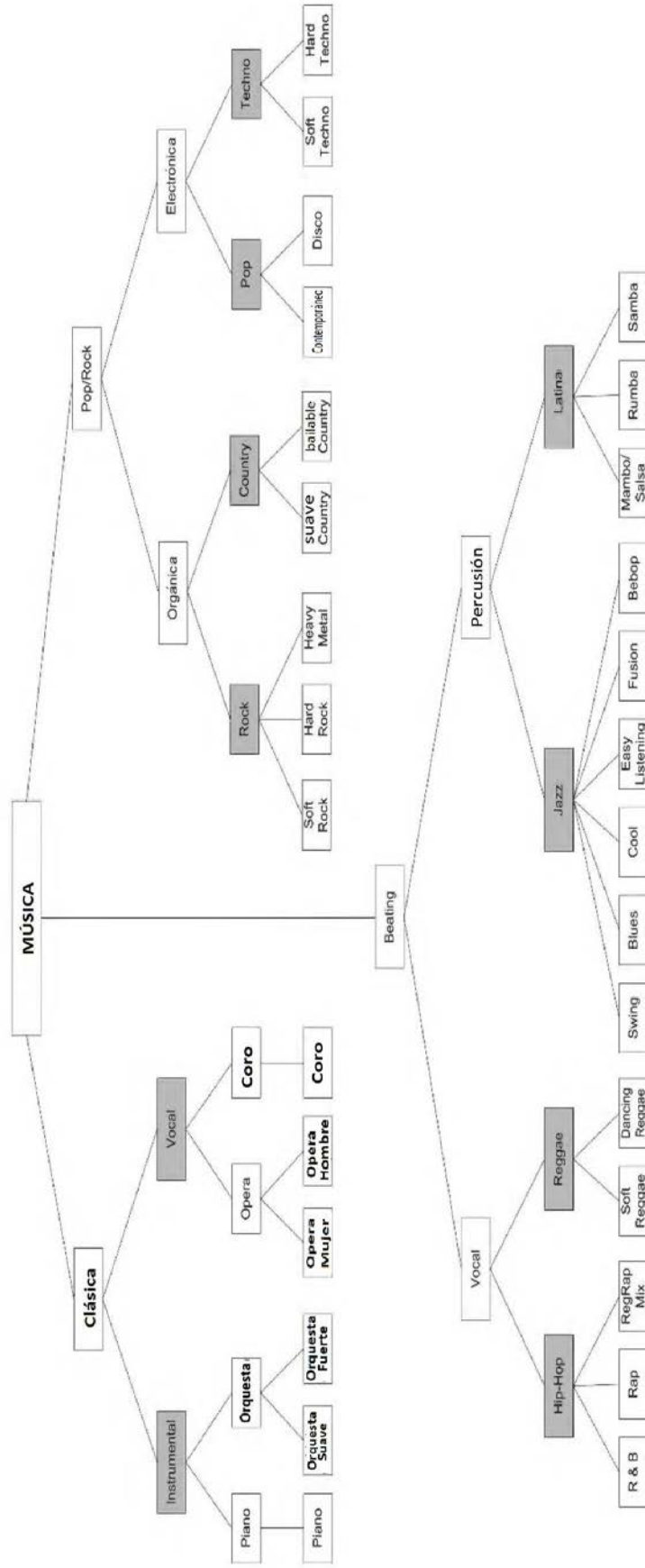


Fig. 1. Musical genre taxonomy.

J. Audio Eng.Soc., Vol. 56, No. 7/8, 2008 July/August
 BARBEDO AND LOPES

Figura 20. Distribución del Género Musical según el tipo de señal de audio en una muestra de 2000 temas musicales. Adaptado de (Barbedo, 2008)

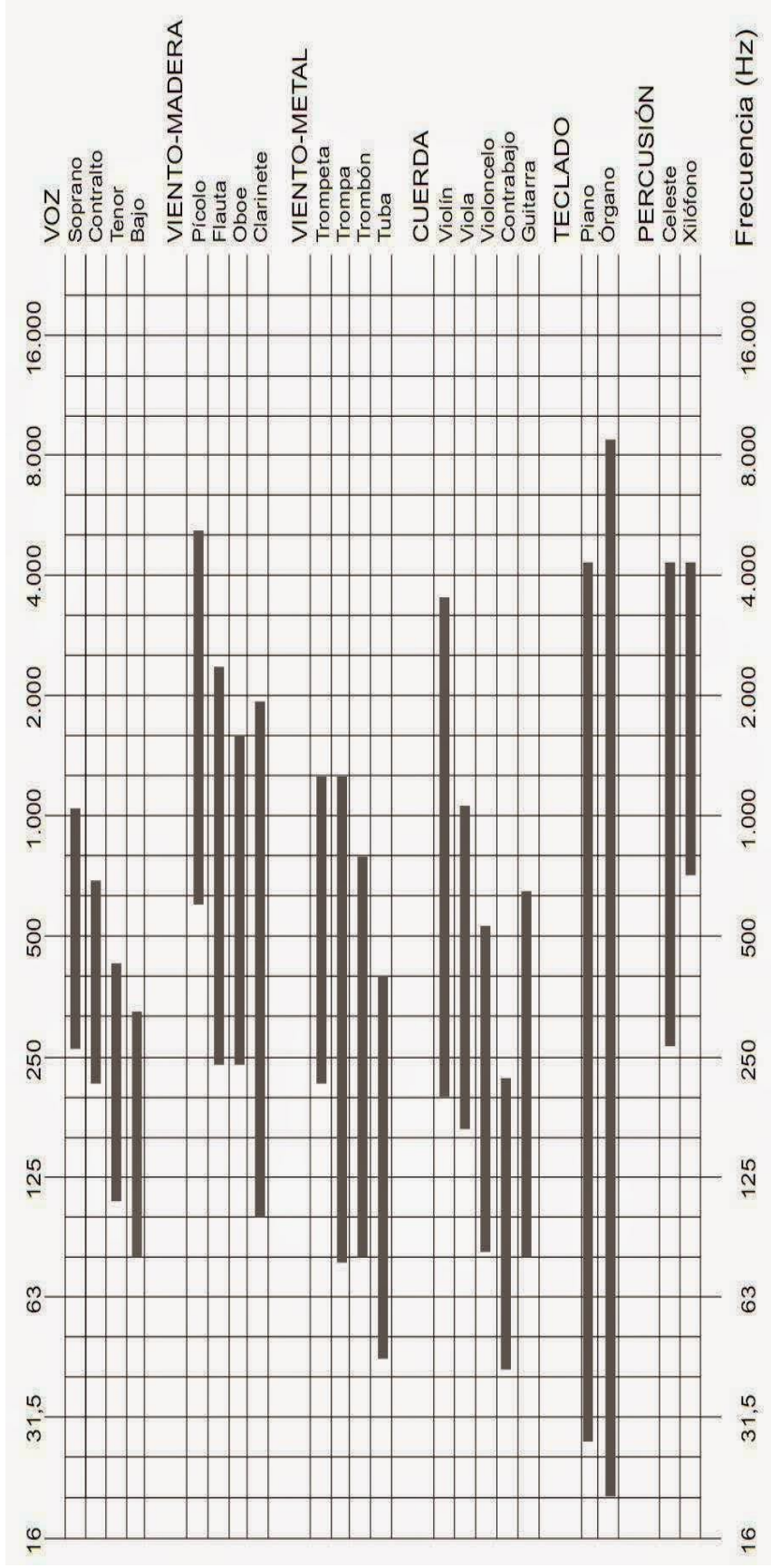


Figura 21. Rango de frecuencia de varios instrumentos musicales acústicos, incluyendo voces. Tomado de (Cursos de Sonido - CFP24: Rango de frecuencias de instrumentos musicales, s.f)

Existen varios algoritmos desarrollados para determinar la dinámica y la probabilidad de sonoridad de cada señal de audio según el género musical. Para esto se toma al dBFS (Nivel sonoro factor cresta), el cual es una unidad resultante que surge como la diferencia entre los niveles pico de una señal (mayor amplitud registrada) con el RMS “raíz media cuadrada” o valor eficaz de la señal (amplitud constante en el tiempo). Los géneros musicales con mayor popularidad en Estados Unidos son: El rock, el Hard Rock (incluyendo sus derivados como el Heavy Metal y el Punk), Jazz, Blues, Clásica, Hip- Hop, Electro Pop, Pop, House y Techno (Mijic, 2009).

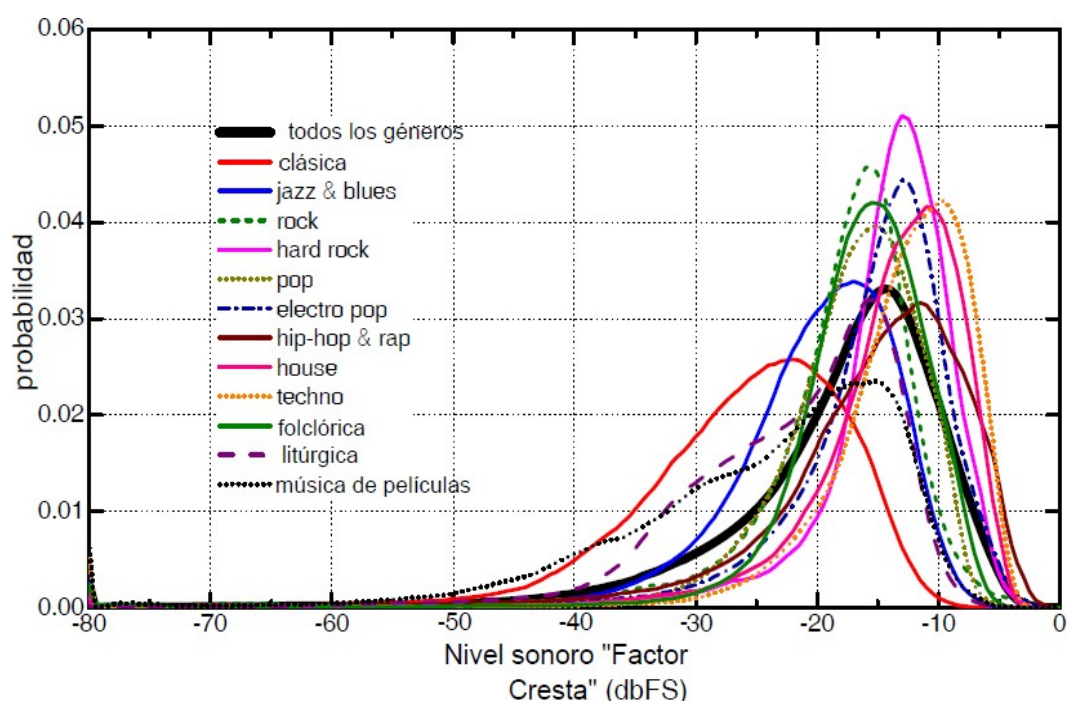


Figura 22. Probabilidad de distintos géneros musicales, para llegar a distintos niveles de presión sonora en dBFS en una base de datos de 30 a 60 canciones por género musical. Fuente: (Mijic, 2009)

Nota: -80 dBFS, representa el nivel sonoro “factor cresta” más bajo captado y 0 dBFS, el nivel como mayor carga energética captado. El eje vertical representa la probabilidad en % que alcanza cada tipo de señal de acuerdo al género musical empleado. Se incluye también la música usada en películas. En color negro se representa el promedio de todos los géneros musicales.

Se concluye con este gráfico que géneros musicales como el Hard Rock, Heavy Metal y/o Punk, son los que mayor probabilidad de llegar a altos niveles de presión sonora poseen, por lo que, pueden tener mayor repercusión en la salud auditiva. Otro aspecto importante que hay que mencionar es que géneros como

la música clásica, poseen un rango dinámico bastante amplio (Rango Dinámico, s.f), así como también instrumentos con altos niveles de emisión de presión sonora, por lo que no es de extrañar él porque es una pregunta de protocolo en audiometrías si el paciente es músico de rock o de música sinfónica (ISO 389-9:2013).

Finalmente, los temas musicales de la música popular contemporánea, poseen espectros sonoros promedios a largos plazo (LTAS “long-term average spectrum”) superiores a 80 dB en frecuencias bajas según Elowsson. En otras palabras, la mayor carga energética de la música contemporánea, está concentrada en bajas frecuencias.

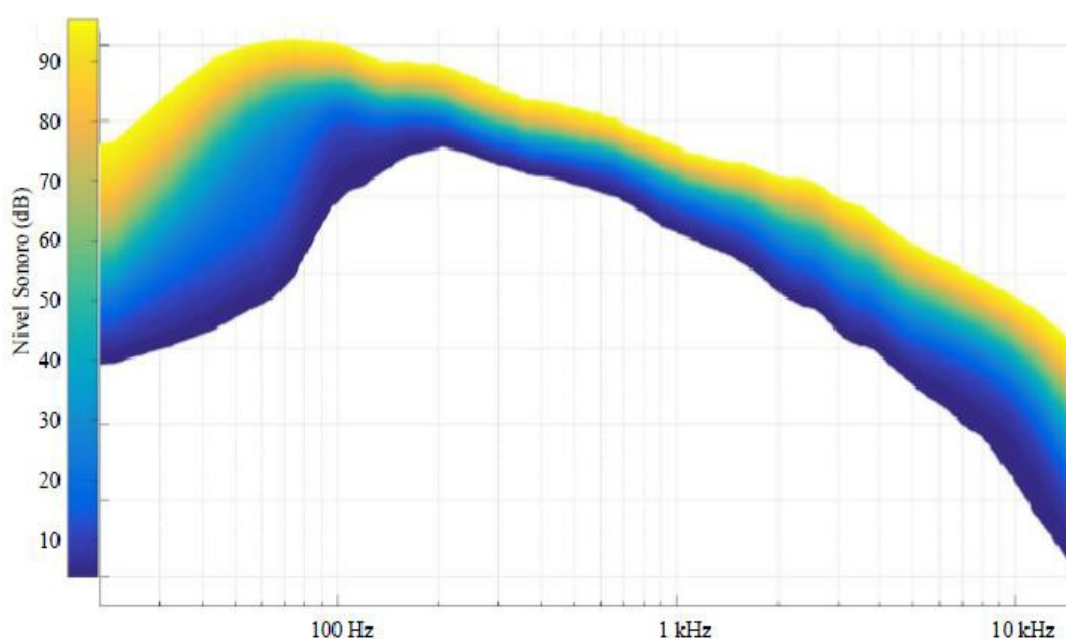


Figura 23. Variación de nivel entre distintos temas, mostrados como percentiles del LTAS de un total de 2000 temas musicales. Tomado de (Elowsson, 2017)

Géneros musicales como reggaetón, salsa, merengue, bachata, entre otros, no poseen un estudio dentro de esta investigación.

2.5. Breve Anatomía del Oído Humano

Las tres principales partes del sistema auditivo, son el oído externo, el oído medio y el interno y realizan las funciones mecánicas, acústicas y eléctricas respectivamente. La parte interna posee nervios y tejidos los cuales transforman la información acústica en inteligibilidad de la palabra y música que llega al cerebro (Miyara, 2003).

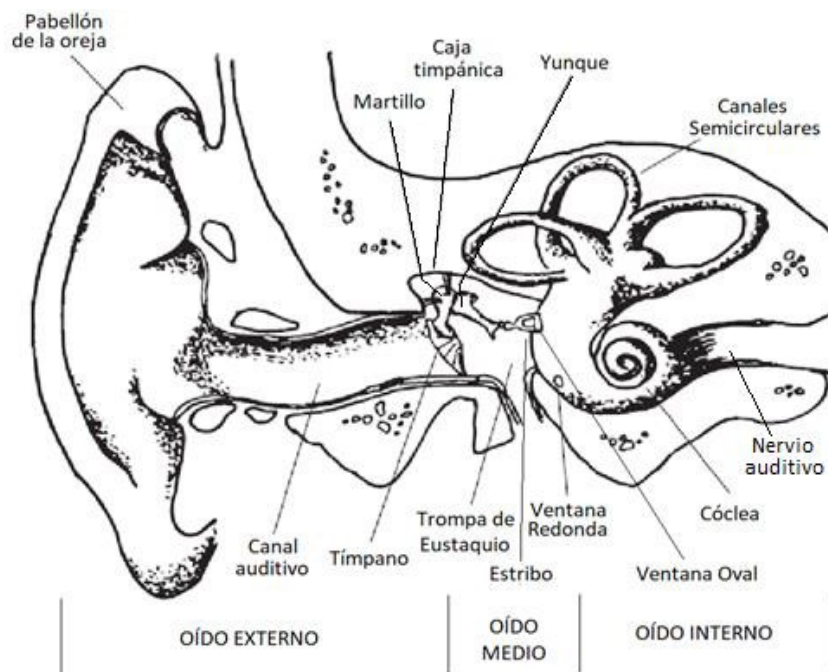


Figura 24. Corte transversal del oído derecho, en donde se visualiza las partes del sistema auditivo más importantes. Tomado de (Everest, 2015, p. 284)

2.5.1. Oído Externo

El oído externo consta por la oreja y el canal auditivo, la oreja tiene la función de ayudar a localizar la procedencia de la fuente sonora, así como direccionar el sonido proveniente hacia el canal auditivo. Éste último a su vez produce un acoplamiento acústico entre las impedancias bajas del aire y la impedancia alta del tímpano, esto resulta en una amplificación de 5 dB a que, si no existiera la oreja, específicamente en 5,5 KHz que coincide con la frecuencia de resonancia de la oreja (Miyara, 2003).

El canal auditivo se asemeja el de un tubo que conecta la oreja con el tímpano, posee dimensiones aproximadas de 2.5 cm de longitud y 0,7 cm de diámetro, además de que cumple dos funciones importantes que son la de proteger al tímpano desde el exterior y potenciar las frecuencias conversacionales en alrededor de 10 dB debido a la resonancia generada en la cavidad (Kuttruff, 2006).

2.5.2. Oído Medio

En el oído medio constan varios elementos como son el tímpano, caja timpánica, los huesecillos de la cadena osicular y la trompa de Eustaquio.

El **tímpano** consiste en una delgada y transparente membrana con forma cónica, que separa el canal auditivo y la caja timpánica. Posee la función mecanoacústica de convertir las ondas acústicas recibidas por vibraciones mecánicas, las cuales recibe e interpreta el oído interno. Esta vibración ocurre por el cambio de presión originado por la diferencia de aire comprimido entre el canal auditivo (que posee una presión variable) y la caja timpánica, la cual tiene presión constante, esto produce la vibración timpánica a través del tiempo (Kuttruff, 2006).

Los huesecillos de la **cadena osicular** son el martillo, el yunque y el estribo, y cumplen el trabajo de hacer una palanca entre el tímpano y el oído interno con la función principal de realizar una adaptación de impedancia acústica entre estos dos órganos (Miyara, 1999).

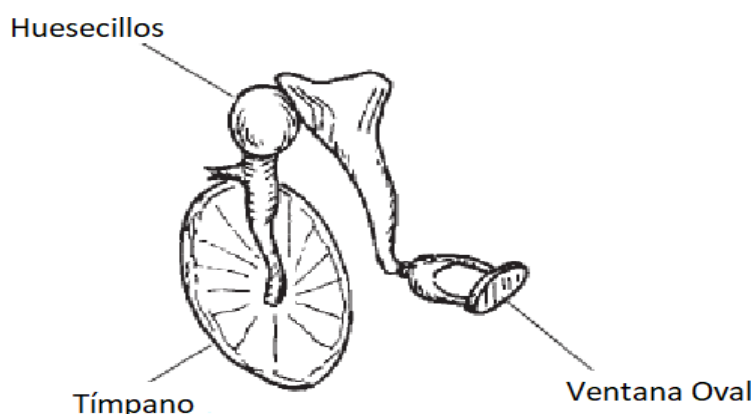


Figura 25. Parte del oído interno que conecta el tímpano con la ventana oval a través de los huesecillos. Adaptado de (Everest 2015, p. 285)

El proceso comienza con un movimiento del martillo que mide 0,8 cm y es causado por la vibración timpánica, al desplazarse el martillo, produce el movimiento del yunque (0,6 cm) y éste último con el estribo (0,3 cm de longitud). Esto produce una fuerza de golpe mayor a través de cada huesecillo al siguiente finalmente logrando una diferencia de presión de 20 veces entre el tímpano que posee un área de 0,6 centímetros cuadrados y la ventana oval de 0,04 cm cuadrados, amplificando aún más el cambio de presión. Cabe mencionar que este proceso es importante debido a que el oído interno almacena agua y posee una impedancia acústica mucho mayor (Everest 2015).

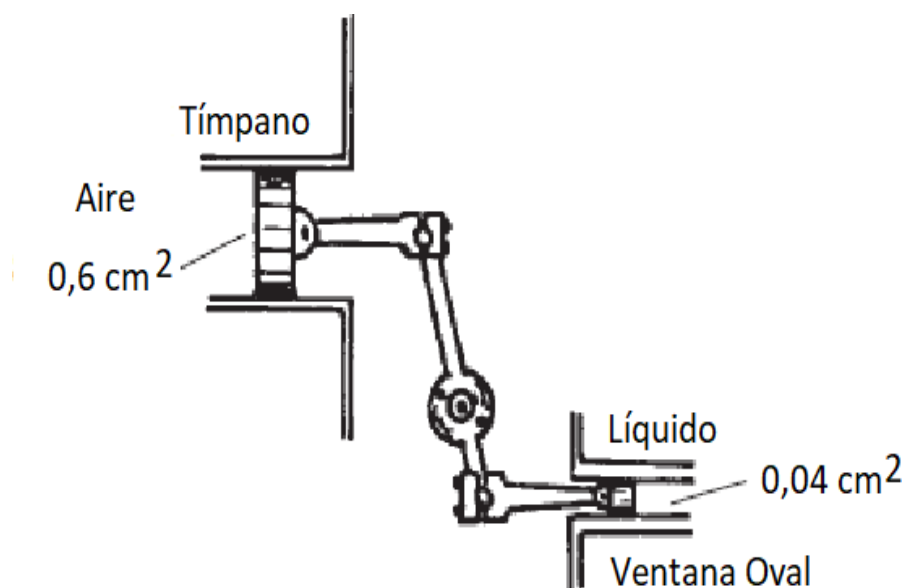


Figura 26. Adaptación de las funciones de los huesecillos en una representación mecánica de una palanca. Adaptado de (Everest 2015, p. 285)

La **trompa de Eustaquio**, es un canal en forma de tubo que posee la función de adaptar presiones al oído ya que permite el paso del aire a través de la boca debido a una conexión con la garganta. Por lo general, se encuentra bloqueado para asegurar el nivel del aire, pero es abierto en la deglución y en los bostezos, de esta forma se logra un equilibrio entre las presiones en el oído medio y el exterior. Este proceso ocurre cuando una persona se traslada a un lugar con mayor o menor altura en un período corto de tiempo y experimenta una caída perceptiva en frecuencias agudas hasta que ocurra el ajuste de presión (Miyara, 1999).

2.5.3. Oído Interno

El oído interno es un laberinto, el cual consta de 2 partes que son los tres canales semicirculares en forma de tubos de 0,6 cm de diámetro cada uno y permiten detectar el movimiento y entregar equilibrio al ser humano. Los tubos mencionados poseen un líquido interno que se mantiene constante a pesar del movimiento, pero el movimiento es captado por unas células llamadas cilios, ubicadas en los bordes internos del tubo, las cuales captan el movimiento y envían información eléctrica al cerebro, quien responde con una respuesta de equilibrio (Llorente, 2012).

2.5.3.1. Cóclea

Es la parte más compleja no sólo del oído interno sino de todo el sistema auditivo, y consta de un tubo de forma cónica de 3,5 cm de longitud y 0,2 de diámetro, el cual está enroscado y forma dos vueltas y media. Se encuentra ubicado en el hueso temporal y cumple la función de convertir las ondas vibratorias del estribo del oído medio en señales perceptivas eléctricas hacia el cerebro. Analiza, distribuye y codifica todo tipo de sonidos de 20 a 20 Khz en un espectro frecuencial distribuido y separado (Kuttruff 2006).

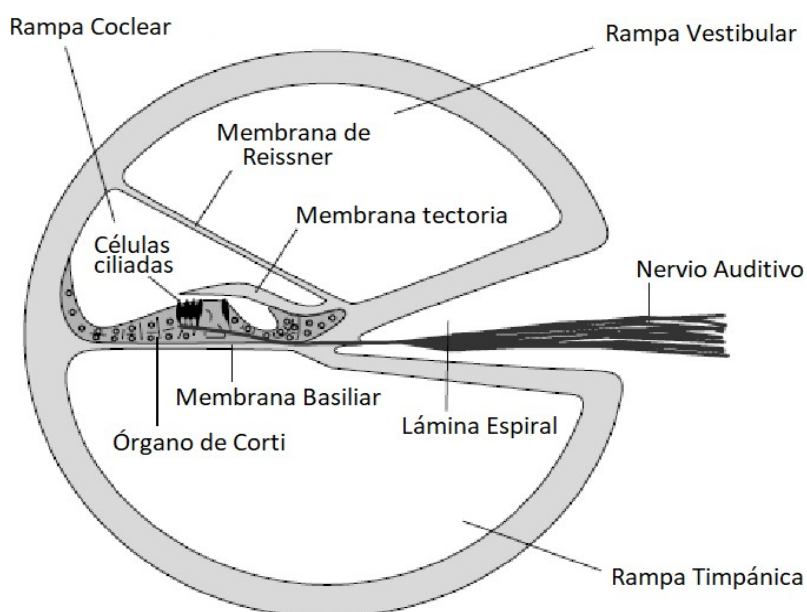


Figura 27. Corte transversal del conducto de la cóclea. Tomado de (Kuttruff, 2006, p. 567)

El tubo coclear posee tres conductos internos que presentan una elevación desde la base de la cóclea hasta el vértice de ésta. Dichos conductos se denominan **rampas** y son la **rampa vestibular**, la **rampa timpánica** y la **rampa coclear**. Las dos primeras tienen una conexión entre ambas a través del ápex de la cóclea, el cual a su vez posee un pequeño agujero denominado helicotrema en el límite de la cóclea. La rampa vestibular y timpánica poseen en su interior un líquido llamado perilinfa, el cual posee iones de sodio. Por su parte la rampa coclear posee un líquido con iones de potasio (Llorente, 2012).

En la base de la cóclea, es decir en el extremo más ancho, la rampa vestibular se conecta con el oído medio a través de la ventana oval.

lado, la ramba timpánica se conecta por medio de la ventana timpánica, que consiste en una membrana similar a la del tímpano.

La membrana basilar es la parte que separa la ramba vestibular de la timpánica y posee una dimensión cercana a la cóclea, es más angosta con rigidez en la base y con una mayor frecuencia de resonancia, mientras que en el otro extremo (en el ápex) tiene mayor flexibilidad y menor frecuencia de resonancia (Miyara, 1999).

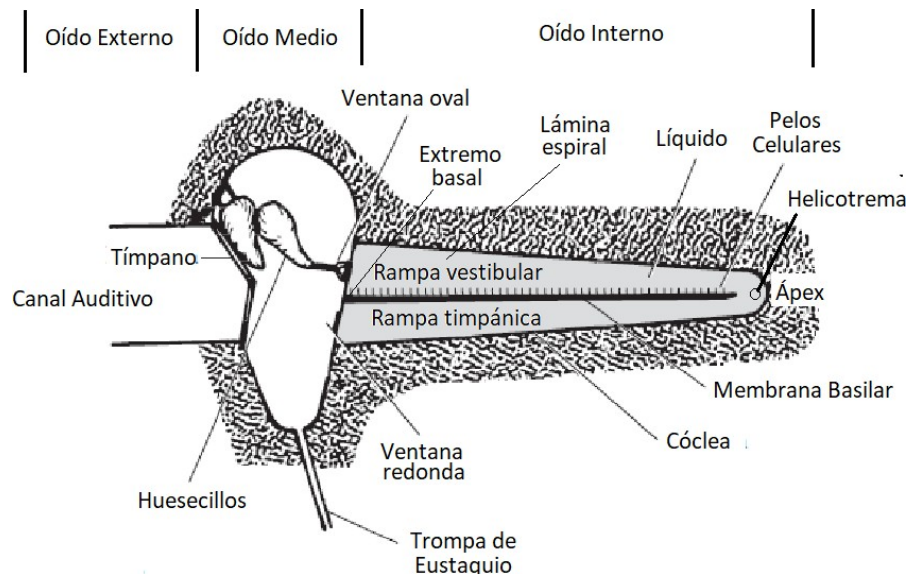


Figura 28. Vista del oído humano con la cóclea totalmente desenrollada y sus partes. Adaptado de (Everest, 2015, p. 287)

Esta fisionomía, produce que esta parte del órgano sea capaz de distribuir las frecuencias y al momento de recibir una onda con frecuencia senoidal con una determinada frecuencia por parte del estribo y la ventana oval, la membrana basilar se excitará produciendo una amplitud máxima que cambiará a través de la longitud de la membrana, dependiendo del valor de frecuencia y la coincidencia con la frecuencia de resonancia (Kuttruff, 2006).

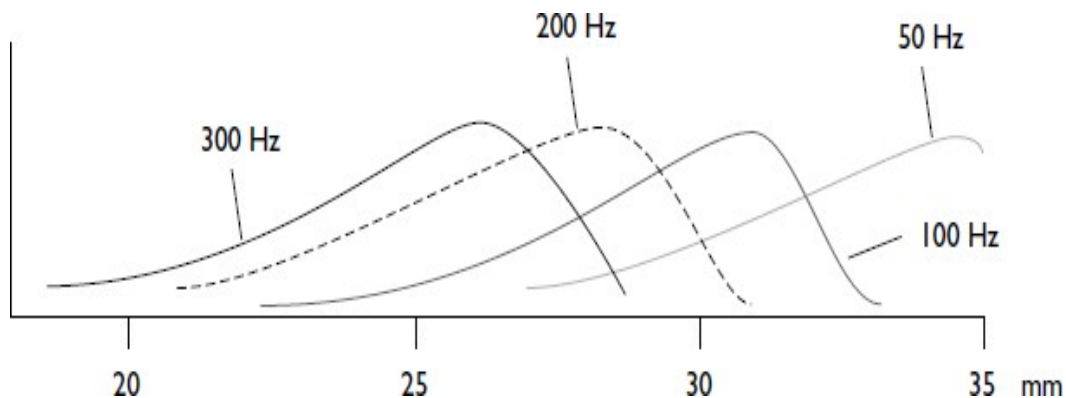


Figura 29. Desplazamiento de la amplitud en la membrana basilar al ser excitada con varios tonos puros de distintas frecuencias. Tomado de (Kuttruff, 2006)

Dentro del oído interno, también se encuentra el órgano de Corti, el cual posee alrededor de 20.000 células receptoras denominadas células ciliadas (Kuttruff, 2006) y se encargan de convertir la energía mecánica captada por la membrana basilar en eléctrica (impulsos nerviosos). El daño a estas células puede resultar en un decaimiento en la capacidad auditiva ya que no se regeneran y el daño es permanente e irreversible (Nadol, 1993). Existen dos tipos, las externas y las internas, siendo las externas hasta 4 veces de más cantidad que las internas. En resumen, las externas discriminan la frecuencia recibida (así sea próxima) y las internas transforman la información hacia el cerebro. Cabe mencionar que las células externas causan un sonido debido a la resonancia con la membrana basilar, llamadas otoemisiones acústicas y son de gran utilidad para exámenes audiológicos objetivos, sin necesidad de participación del paciente (Miyara, 1999).

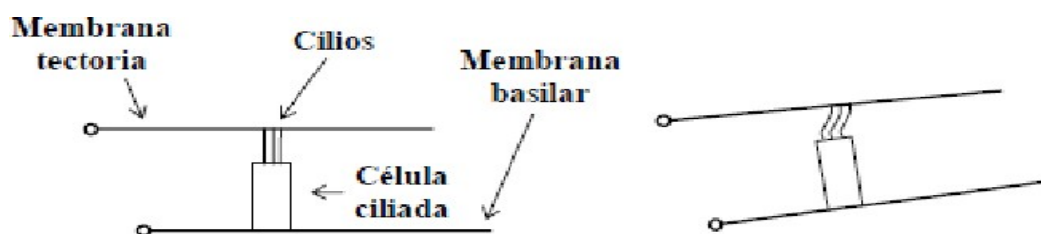


Figura 30. Comportamiento de una célula ciliada. Tomado de (Miyara, 1999, p. 42)

Nota: En el lado izquierdo, una célula ciliada ubicada entre la membrana tectoria y la membrana basilar. En el lado derecho una célula ciliada excitada por una vibración, provocando el ondeo de los cilios.

2.5.4. Funciones del oído

En conclusión, cada parte del sistema auditivo posee una función distinta al momento de escuchar música por ejemplo (Roederer, 2008).

Tabla 9.

Funciones de cada parte del oído

	Sistema	Función
Fuente	Mecanismo de excitación	Suministro de energía
	Elemento Vibrante	Determinación de las características fundamentales del tono
	Resonador	Conversión a oscilaciones de la presión del aire (ondas sonoras), determinación final de las características del tono
Medio	Medio propiamente dicho	Propagación del sonido
	Límites	Reflexión, absorción reverberación
Receptor	Tímpano	Conversión a oscilaciones mecánicas
	Oído Interno	Codificación primaria de la frecuencia, conversión a impulsos neurales
	Sistema nervioso	Procesamiento, imaginación, identificación, almacenamiento y transferencia a otros centros cerebrales

Tomado de (Roederer, 2008)

2.6. Audiología

La audiolología, es el estudio del comportamiento y los problemas de la audición. Es un campo que busca a ayudar a personas con mal funcionamiento de su sistema auditivo y vestibular. Este trabajo comprende la evaluación, la causa (antecedentes), la rehabilitación, el asesoramiento al paciente, la investigación y por supuesto la prevención (Katz, 2014), ya que mucha de la pérdida auditiva es irreversible.

La audiolología combina ramas de la ciencia tales como la acústica, la ingeniería (electrónica, sonido) y la medicina en cuanto a la investigación clínica. Se usa equipo electroacústico sofisticado y calibrado para proveer precisión en los

resultados y determinar y/o eliminar el tipo de problema (Katz, 2014).

Esta ciencia también, explora el problema a todos los niveles del aparato auditivo, tales como el oído interno, medio, externo y los componentes anatómicos que lo conforman, así también como el sistema nervioso auditivo (Katz, 2014).

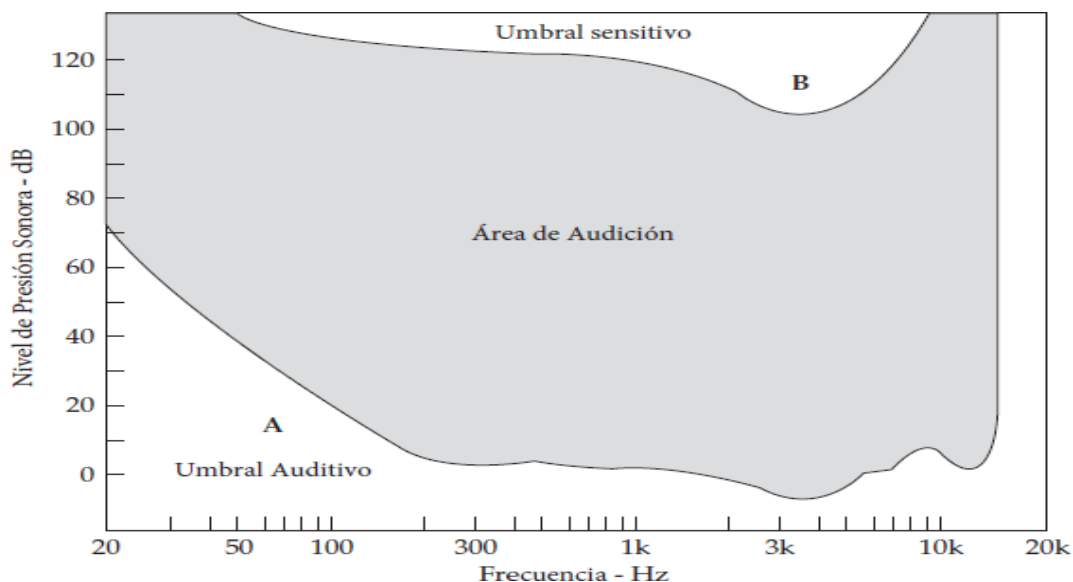


Figura 31. Área de audición obtenida de oyentes entrenados. Tomado de: (Everest, 2015, p. 125)

Nota: delineada por la parte A, representa los mínimos niveles de presión sonora que el oído puede detectar y la parte B, que corresponde al área de sensibilidad, en donde los tonos a tal nivel de presión, empiezan a provocar dolor al individuo.

2.6.1. Audiómetro

Según la normativa ISO 389, el audiómetro es un dispositivo electroacústico, generador de tonos puros, vibraciones y/o ruidos para ciertas frecuencias e intensidades conocidas por el operador y que cubren todo el rango auditivo del oído humano. Puede ser de tipo análogo o digital, en cuanto a su circuitería interna o de tipo manual o automático en cuanto al tipo de operación (Audiómetro., 2017).

Los componentes internos de este son:

- 1) **Oscilador o generador de ondas:** Es la parte que se encarga de generar las frecuencias de tonos puros por frecuencias de octava a partir de 125 a 8000 Hz, incluyendo de manera opcional otras

frecuencias de media octava como 750, 1500, 3000 y 6000 Hz.

- 2) **Amplificador:** Es la parte electrónica encargada de aumentar y dar la ganancia requerida a las frecuencias de tonos puros creadas por el oscilador, las cuales posee un valor de hasta 120 dB.
- 3) **Atenuador:** Es el componente electrónico el cual proporciona la posibilidad de manejar el nivel de intensidad que resulta en la salida del transductor, sea de los audífonos o del vibrador óseo mediante niveles de configuración 5, 3 o 1 dB para cada una de las frecuencias asignadas por el operador.

Los componentes externos del audiómetro son los siguientes (pueden variar según el modelo y el tipo):

- Pantalla
- Control de frecuencia
- Control de cambio de oído
- Control de enmascaramiento
- Control de tipo de onda
- Control de presentación (vía aérea o vía ósea)
- Control de intensidad
- Botón de estímulo
- Pulsador de respuesta
- Audífonos
- Vibrador óseo
- Micrófono de comunicación
- Impresora Externa
- Interface para computador

2.6.1.1. Audiómetros de tono puro

Son aquellos que envían tonos puros, mediante un generador de frecuencias senoidales hacia un transductor por vía aérea mediante audífonos o vía ósea hacia un transductor óseo. (Katz, 2014). De esta manera es posible determinar la capacidad auditiva del paciente obteniendo su umbral auditivo y observar en qué estado se encuentra la integridad del oído interno o medio (vía ósea) o

externo (vía aérea) (Katz, 2014).

Tabla 10. Clasificación de Audiómetros de frecuencias fijas según las prestaciones

Equipamiento	Tipo 1 Clínico/Investigación avanzado	Tipo 2 Clínico	Tipo 3 Diagnóstico Básico	Tipo 4 Exploración/ monitorizado
Conducción aérea				
- dos auriculares	X	X	X	X
- auricular de inserción adicional	X			
Conducción ósea	X	X	X	
Ruido enmascarante de banda estrecha	X	X	X	
Entrada para señales externas	X	X		
Conmutación de tonos				
- presentación de tono	X	X	X	Xa
- interrupción de tono	X	X		Xb
- tono pulsado	X	X		
señal	X	X		
Monitorización audible de la señal de ensayo				
- tonos puros y ruido	X	X		
- entrada externa	X	X		
Comunicación verbal				
- del operador al sujeto	X	X		
- del sujeto al operador	X			

Vía del enmascaramiento				
- auricular contralateral	X	X	X	
- auricular ipsilateral	X			
- vibrador óseo	X			
Tono de referencia(c)				
- presentación alternante	X	X		
- presentación simultánea	X	X		
Sistema de respuesta del sujeto	X	X	X	Xb
Salida de señal eléctrica	X	X		
Indicador de señal	X	X		
Monitorización audible de la señal de ensayo				
- tonos puros y ruido	X	X		
- entrada externa	X	X		
Comunicación verbal				
- del operador al sujeto	X	X		
- del sujeto al operador	X			

NOTA: El rango de alta frecuencia extendido (EHF) es opcional para los cuatro audiómetros

a) No obligatoria para los audiómetros de registro automático, excepto con propósitos de calibración.

b) No obligatoria para los audiómetros manuales.

c) El requisito mínimo es para la presentación de tonos de referencia *de la misma frecuencia que* los tonos de ensayo.

Tomado de (Norma EN 60645-1:2015, s.f)

2.6.2. Audiometría Tonal

La audiometría tonal, es el procedimiento por el cual se determina de manera subjetiva el umbral auditivo mediante tonos senoidales de frecuencias normalizadas. Las frecuencias normalmente utilizadas son: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz y 8000 Hz, significa que se realiza una medición por bandas de octava a partir de 125 Hz hasta llegar a 8 KHz para una medición clínica y una de diagnóstico para las frecuencias de 500 Hz hasta 8 KHz ya que las más importantes y mayor peso tienen son las que incluyen al lenguaje humano (500 Hz a 2 KHz) y por otro lado las frecuencias como 4 KHz y 8 KHz son las más sensibles al daño y las primeras en verse afectadas. Sin embargo, se pueden incluir otras frecuencias de media banda de octava como 6 KHz, 3 KHz, 1.5 KHz y 750 Hz, en orden de importancia, según la normativa ISO 4869 parte 1.

Este tipo de audiometrías se pueden realizar por vía aérea mediante audífonos o por vía ósea mediante vibraciones hacia transductores óseos, ubicados en el cráneo del paciente.

2.6.3. Audiometría Por Vía Ósea

Al igual que en la audiometría tonal por vía aérea, se envían las mismas frecuencias utilizadas, pero con la diferencia de que se usan transductores óseos ubicados en el cráneo. Este tipo de audiometría es comúnmente usada posteriormente a la audiometría por vía aérea para determinar ciertos tipos de hipoacusias neurosensoriales (daño auditivo en partes del oído medio e interno) en donde la audiometría por vía aérea no es capaz de localizar.

2.6.4. Impedanciometría

Es un método para medir la resistencia que oído medio soporta al flujo de sonido, por lo que tiene una aplicación en la integridad del funcionamiento del mecanismo de transmisión y no de la audición. Se usa para detectar la presencia de líquido acumulado en el oído medio y diagnosticar la trompa de Eustaquio. Dentro de la Impedanciometría, se encuentra la timpanometría y el reflejo acústico estapedial (Llorente, 2012).

2.6.5. Timpanometría

Es un método para medir la movilidad o complianza de la membrana timpánica y detectar el tipo específico de daño dentro del oído medio y la trompa de Eustaquio según la presión aérea emitida por la sonda exploradora dentro del canal auditivo.

2.6.6. Audiómetros Vocales y Logaudiometría

Existen también audiómetros que envían palabras, sílabas o vocales para determinar la capacidad de comprensión e inteligibilidad de la palabra del paciente. Esta característica en la mayoría de los audiómetros actuales, está integrada dentro del mismo audiómetro tonal. La audiometría vocal comprende frecuencias sonoras desde 500 Hz hasta 6 Khz según la normativa ISO 8253-3

Las señales sonoras de palabras poseen información acústica característica. Los sonidos consonantes tienen mayor información que las vocales. El espectro de ambas es distinto, teniendo los vocales sonidos casi periódicos con una frecuencia fundamental y sus armónicos, mientras que las consonantes poseen un espectro mayoritariamente continuo. Otras características son que las vocales tienen más energía en baja frecuencia, así como también mayor duración e intensidad, al contrario de las consonantes, las cuales tienen una carga energética mayor en frecuencias altas y son de menor duración, (Fant, 2004).

2.6.7. Audiometría por otoemisiones acústicas

Este tipo de audiometría, tiene como objetivo determinar la capacidad e integridad de las células ciliadas externas. Estas células se contraen al ser expuestas ante un estímulo sonoro y emiten una vibración lo suficientemente fuerte como para medirlas mediante un micrófono de inserción dentro del canal auditivo. A diferencia de las anteriores audiometrías, la audiometría por otoemisiones acústicas, provee un resultado objetivo, sin necesidad de la participación del paciente. De esta forma se puede determinar el daño existente en la membrana basilar y localizar el área de la lesión, tanto en adultos con discapacidad como en niños recién nacidos, quienes son incapaces de dar una respuesta física positiva ante un estímulo externo (Llorente, 2012).

2.6.8. Ruido de Fondo

Según la norma ISO 8253-1-2011 las cabinas insonorizadas de ensayo audiométrico, deben cumplir ciertos niveles de ruido de fondo mínimos para un resultado óptimo en el paciente.

Para el ruido de fondo los valores que se midan no deberán sobrepasar los valores establecidos por los valores de la siguiente tabla:

Tabla 11.

Ruido de fondo mínimo para cabinas insonorizadas

Frecuencia central de banda de 1/3 de octava en Hz	Banda de frecuencias para prueba de		
	125 a 8000 Hz	250 a 8000 Hz	500 a 8000 Hz
31,5	56	66	78
40	52	62	73
50	47	57	68
63	42	52	64
80	38	8	59
100	33	43	55
125	28	39	51
160	23	30	47
200	20	20	42
250	19	19	37
315	18	18	33
400	18	18	24
500	18	18	18
630	18	18	18
800	20	20	20
1000	23	23	23
1250	25	25	25
1600	27	27	27
2000	30	30	30
2500	32	32	32
3150	34	34	34
4000	36	36	36
5000	35	35	35
6300	34	34	34
8000	33	33	33

Tomado de (QSOEs.f)

2.6.9. HL “HEARING LEVEL”

“Nivel de Audición en español”. Es la escala de la representación clínica en dB, y a diferencia de la escala de Nivel de Presión Sonora “**NPS**”, está ajustada en frecuencia y nivel a la audición humana y es usada para determinar el umbral auditivo de un paciente mediante el audiograma (Katz, 2014). Es decir, el nivel de referencia en una escala de HL, es el promedio de audición en función de la frecuencia para un adulto joven sin antecedentes de problemas auditivos (Katz, 2014). Es distinta a la escala de NPS, principalmente también porque la percepción auditiva del ser humano posee mayor sensibilidad a ciertas frecuencias y niveles que en otros, mientras que en la escala de NPS, no existe y no se representa tal desviación (Miyara, 1999).

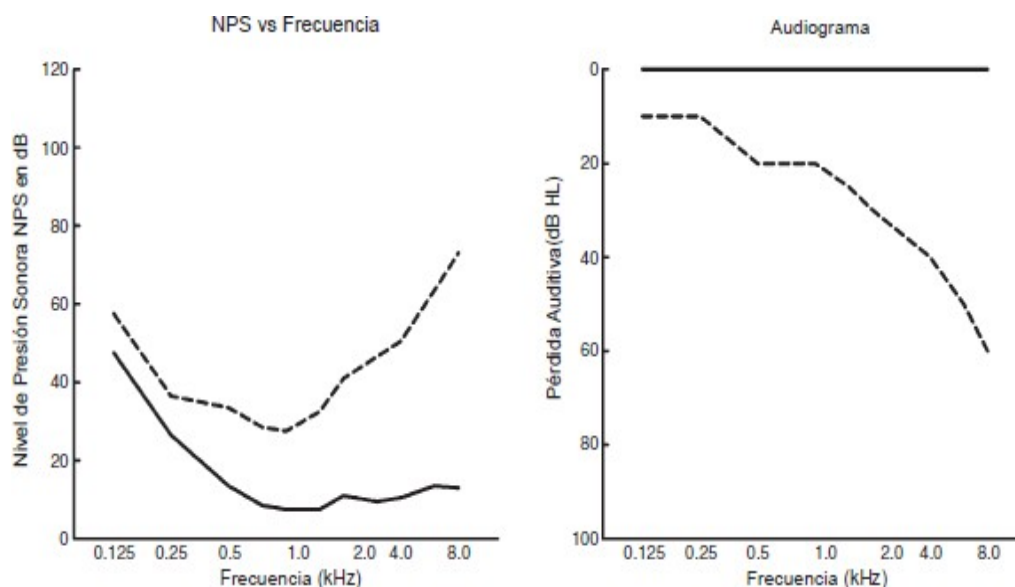


Figura 32. Umbrales auditivos en dB en función de la frecuencia, expresados en NPS en el lado izquierdo y en HL en lado derecho. Tomado de (Katz, 2014, p. 21).

Nota: La línea continua, representa una audición promedio en personas adultas jóvenes (sin pérdida auditiva y sin antecedentes) y se toma como valor estándar en HL, por eso es una recta en el gráfico del lado derecho. La línea entrecortada, representa el umbral auditivo de una persona con pérdida auditiva en alta frecuencia. Cabe destacar que el gráfico derecho correspondiente a HL está invertido el eje del nivel, para una mejor interpretación del mismo.

2.6.10. Tipos de auriculares

En audiometrías se usan distintos tipos de auriculares, según la posición hacia el oído (Tipos de auriculares: diferencias y uso | Zococity Blog., s.f). Estos pueden ser:

Circumaurales, los cuales cubren totalmente a la oreja, permitiendo un aislamiento del exterior e impidiendo la salida del sonido hacia el exterior. Al estar más alejados del oído, permiten una mejor sensación estereofónica con una respuesta de reproducción más lineal. Audiómetros de Tipo 1, es decir clínicos o de investigación, usan este tipo de auriculares.

Supraaurales: Este tipo de audífonos cubren mayoritariamente el pabellón auditivo y son de menor tamaño que los anteriores.

Intraurales: Son de inserción, es decir van colocados dentro del canal auditivo, sin embargo, provocan una sensación menos natural, al percibirlos como si el sonido proviniera del interior de la cabeza. Al tener menor tamaño poseen menor respuesta de frecuencia y menor rendimiento. Audiómetros de Tipo 1, es decir clínicos o de investigación, usan también este tipo de auriculares adicionalmente a los circumaurales.

De conducción ósea: Este tipo de auriculares, se colocan en la parte externa del cráneo para emitir sonido directamente hacia el oído interno y la cóclea. Son de gran utilidad para determinar daños en dicha parte del oído.

2.6.11. Valores de niveles de audición según el tipo de audiómetro

Los audiómetros de frecuencias fijas deben poseer determinados valores mínimos de niveles de la audición "HL" según la frecuencia, de acuerdo a la normativa EN 60645-1:2015, por ejemplo, un audiómetro de tipo 2 debe ser capaz de transmitir al menos 60 dB por vía aérea en 125 Hz para considerarse de dicho tipo y al menos 70 dB o más para considerarse de tipo 1 en la frecuencia mencionada.

En la siguiente tabla se detallan los valores, para audífonos supraurales y vibradores óseos (para auriculares de inserción o circumaurales generalmente usados en audiómetros de tipo 1, los valores pueden ser 10 dB menos a los estipulados):

Tabla 12. *Valores mínimos de niveles audición presentes según la frecuencia y el tipo de audiómetro.*

Frecuencia en Hz	Niveles de audición en dB						
	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3		Tipo 4
	Aire	Hueso	Aire	Hueso	Aire	Hueso	Aire
125	70	60	60	-	-	-	-
250	90	45	80	45	70	15	70
500	120	60	110	60	100	50	70
750	120	60	-	-	-	-	-
1000	120	70	110	70	100	60	70
1500	120	70	110	70	-	-	-
2 000	120	70	110	70	100	60	70
3 000	120	70	110	70	100	60	70
4 000	120	60	110	60	100	50	70
6 000	110	50	100	-	90	-	70
8 000	100	-	90	-	80	-	-

El nivel de audición mínimo transmitido puede variar hasta máximo -10 dB.

Tomado de (QU, s.f)

2.6.12. Prótesis Auditivas

Son audífonos de corrección auditiva, pero a diferencia de los auriculares convencionales, estos poseen un micrófono que capta el sonido exterior, un procesador que amplifica la señal y la transforma para adaptarla a la audición del oído, por último, poseen un auricular de estimulación aérea o un vibrador óseo. Por lo general la mayoría de prótesis auditivas, trabaja en frecuencias conversacionales (500 a 2000 Hz). Existen varios tipos de prótesis auditivas y mecanismos de instalación según el área de afectación. El Otorrinolaringólogo, es el único profesional de prescribir un audífono por medio de un imperativo legal (Llorente, 2012).

2.6.13. Umbral Auditivo

Es el nivel de presión acústica o nivel de intensidad vibratoria, en donde el paciente da un total número positivo de veces a los estímulos enviados a sus

oídos, en condiciones específicas de manera que se obtiene una curva mínima de su capacidad auditiva. El nivel cero de referencia para cada frecuencia, es el nivel de audición promedio de personas adultas otológicamente normales y sin antecedentes de traumas acústicos. Es decir, el nivel de presión sonora al que encaja con el nivel de audición en 0 dB y es distinto al umbral auditivo (Katz, 2014).

A continuación, están los niveles mencionados, según el tipo de auricular audiométrico usado:

Tabla 13. *Nivel cero de referencia para distintos tipos de audífonos.*

Frecuencia	Western Electric 705- A	Telefonía TDH-39	Telefonía DD45	Telefonía TDH-49 y 50	Telex 1470
125	45.5	47.5	45	47.6	45
250	24.5	27	25	26.7	25
500	11	12.5	13	13.5	10
1000	6.5	7	6.5	7.4	3
1500	6.5	6.5	8	7.6	5
2000	8.5	9	8	11.1	4
3000	7.5	10	8	9.7	5
4000	9	9.5	9	10.7	6
6000	8	15	21.5	13.4	7.5
8000	9.5	13	12	13.0	9

Tomado de (Norma ISO, s.f)

La tabla anterior, evidencia la diferencia que existe entre los distintos tipos de audífonos, este aspecto es importante considerar al momento de calibrar los equipos y seleccionar correctamente el tipo de auricular que se va a utilizar. La diferencia de los niveles radica básicamente debido al tipo de transductor que usa cada modelo, además del comportamiento que se genera en la cavidad del oído debido al tipo de recubrimiento en la oreja que ofrezca el modelo. En otras palabras, los de tipo circumaurales recubren completamente la oreja evitando fugas de presión hacia el exterior, por otro lado, los supraurales únicamente se apoyan sobre la cabeza y al no estar del todo herméticos, pueden producir importantes fugas de presión sonora al exterior. Los audífonos TDH-39 y DD45 son de este último tipo y son los que mayormente se usa en audiómetros de tipo 2.

Cabe destacar que, en estos 2 últimos modelos, existe una diferencia importante en la frecuencia de 6 KHz en comparación a las frecuencias aledañas de 4 y 8

KHz, siendo en 6 KHz aprox. un 50% mayor el nivel que en 4 KHz, debido a la complianza producida en el interior del oído por la resonancia en el canal auditivo y variación de presión. Por último, será necesario aplicar una corrección según el tipo de audiómetro, modelo de auricular y calibración de ser requerido (ISO 8798).

2.6.13.1. Umbral Psicológico

Ante un determinado tipo de estímulo (sea físico, visual o sonoro), el cuerpo humano responde de una determinada manera que en cierta forma depende de la intensidad del estímulo. Es posible medir dicho estímulo con la sensación provocada en el paciente, sin embargo, existe una respuesta subjetiva, ya que cada paciente experimenta de manera distinta al resto de personas. Para disminuir el margen de subjetividad se puede realizar un mayor número de exámenes, para dar estadísticamente un margen de error lo más bajo posible, pero sin poder eliminar la subjetividad de ninguna forma. En otras palabras, el umbral psicológico es la respuesta positiva mínima a un determinado estímulo en donde se pueda apreciar y medir alguna respuesta o reacción por parte del paciente (Miyara, 1999). Se dividen en 2 tipos:

- 1) Umbral Absoluto
- 2) Umbral Diferencial

2.6.13.2. Umbral Absoluto

Es la intensidad mínima de un estímulo, en donde el paciente afirma percibirlo al menos el 50% de las veces. Es decir, da una respuesta positiva al menos 1 de cada 2 veces. Para lograr obtener un umbral absoluto de frecuencia satisfactorio, es necesario que las pruebas se realicen en un recinto aislado acústicamente y que el individuo no presente fatiga auditiva de al menos 24 horas. Existen 2 formas para calcular el umbral absoluto (Miyara, 1999).

- 1) La primera forma consiste en los **mínimos cambios**, es decir se presenta el estímulo de manera gradual desde abajo hasta dar con un positivo, posteriormente hacer lo mismo, pero desde arriba hacia abajo, hasta que el paciente afirme su presencia. Finalmente promediar ambos valores
- 2) El segundo método es mediante **estímulos consonantes**, la cual consiste en presentar al individuo, niveles de intensidad fijas cercanas al posible

umbral de manera aleatoria. El umbral será el valor que el paciente afirme el 50% de las veces.

2.6.13.3. Umbral Diferencial

Es la intensidad mínima en la que el estímulo auditivo debe exceder a otro para que el individuo lo reconozca como diferente el 50% de los ensayos. Para llegar al valor del umbral diferencial, es necesario aplicar anteriormente uno de los 2 métodos anteriores. La diferencia se promedia y el valor resultante será el denominado umbral diferencial (Miyara, 1999).

Cabe mencionar que independientemente del método que se use, el valor resultante puede variar y cambiar de un ensayo a otro, debido a muchos factores de subjetividad como la fatiga, el estrés o inclusive agudizar su percepción al aumentar el número de intentos (Miyara, 1999).

2.6.14. Calibración

La calibración del equipo audiométrico y sus periféricos es suma importancia para que las mediciones sean lo más cercanas posibles a la realidad y se puedan validar los resultados. Según la norma ISO 8253-1, se mencionan dos tipos de calibración, chequeos rutinarios y calibración subjetiva.

2.6.14.1 Chequeos rutinarios

Este tipo de chequeos deben realizarse a diario por el operador, siempre antes de comenzar con la primera audiometría, se deben observar la integridad del cableado, de los transductores, de los conectores y verificar que no exista ningún ruido que no sea provocado por el audiómetro o cables (UNE-EN 60645-1, 2015).

2.6.14.2. Calibración subjetiva

Se realiza una prueba rutinaria periódica a un individuo con audición sana (que no exceda a 25 dB HL en ninguna frecuencia), del cual se tenga ya un resultado audiométrico previo y que no haya sido expuesto a exceso de ruido en las últimas horas. Si el resultado presenta una variación menor a 10 dB, el equipo podrá seguir siendo usado, caso contrario deberá ser retirado del servicio para una inspección y calibración objetiva (UNE-EN 60645-1, 2015).

2.6.14.3. Calibración Objetiva

Este tipo de calibración, deberá ser llevada a cabo por un laboratorio especializado y/o un técnico autorizado. Según la normativa ISO 389, se deberán seguir valores de referencia ya establecidos para cuadrar los equipos mediante oídos artificiales o mediante un acoplador acústico. Esta calibración se practica una vez cada año y se consideran factores como el nivel de audición, la exactitud de la frecuencia, la respuesta de frecuencia, la distorsión armónica y el nivel de enmascaramiento entre las más importantes.

2.6.15 Audiograma

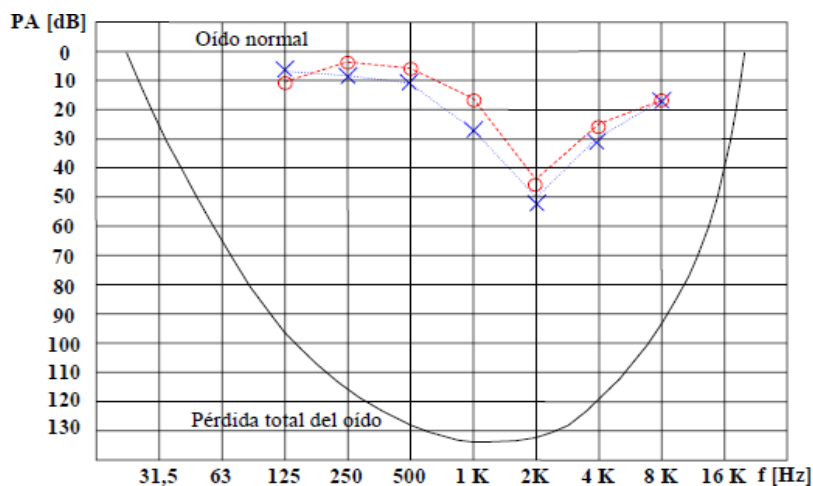


Figura 33. Audiograma típico. Tomado de (Miyara, 1999, p. 67)

Nota: El audiograma es un gráfico el cual representa la capacidad auditiva del paciente. El eje vertical representa el nivel de audición en dB "HL" o "pérdida auditiva "PA" y está asociado directamente a la sonoridad o volumen de escucha, en donde en la parte inferior se tiene los niveles máximos hasta llegar al umbral del dolor, sobrepasando éste, se encuentra la pérdida total del oído y en la superior los niveles mínimos de percepción; mientras que el eje horizontal representa la frecuencia en Hz por bandas de octava.

La simbología en un audiograma es la siguiente:

- O Oído derecho, vía aérea
- x Oído izquierdo, vía aérea
- < Oído derecho, vía ósea
- > Oído izquierdo, vía ósea
- ↘ Oído Derecho, sin respuesta
- ↙ Oído izquierdo, sin respuesta

Según la ubicación del umbral auditivo, se puede determinar el grado de discapacidad de la persona:

- PAP ≤ 20 Sin dificultades para la voz baja
- 20 < PAP ≤ 40 Dificultades sólo para la voz baja
- 40 < PAP ≤ 55 Dificultad recurrente para voz normal
- 55 < PAP ≤ 70 Dificultad recurrente para la voz alta
- 70 < PAP ≤ 90 Únicamente escucha mediante gritos o voz amplificada
- 90 < PAP Mayoritariamente no comprende ni la voz amplificada

El PAP, se define como la pérdida auditiva promedio entre las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz:

$$PAP = \frac{PA_{500} + PA_{1000} + PA_{2000}}{3}$$

Ecuación 5

Esto se traduce clínicamente a lo que se conoce como hipoacusia, es decir la disminución de la capacidad auditiva en uno (unilateral) o ambos oídos (bilateral), hay distintos tipos de hipoacusia (Llorente, 2012).

- **Hipoacusia leve:** Si el umbral auditivo se encuentra en el margen de 20 a 40 dB, la persona presentará problemas al momento de mantener una conversación en ambientes ruidosos o a distancia.
- **Hipoacusia moderada:** Si los umbrales están ubicados entre 40 y 70 dB, se considera que el paciente ya presenta hipoacusia moderada y puede presentar problemas de comprensión así sea en un ambiente tranquilo.
- **Hipoacusia severa:** Si el umbral es mayor a 70 dB, pero menor a 90 dB, el problema ya se considera severo.
- **Hipoacusia profunda:** Si la pérdida auditiva es mayor a 90 dB, sin embargo, percibe sensaciones de sonidos fuertes.
- **Anacusia o cofosis:** Pérdida total de la audición.

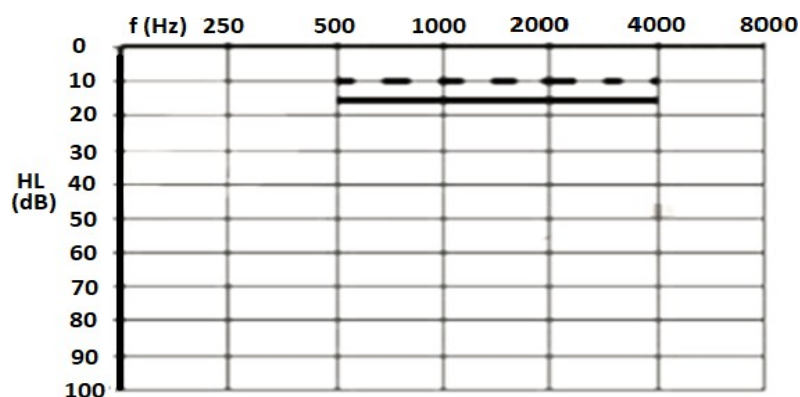


Figura 34. Una Hipoacusia normal o llamada también Normoacusia. Tomado de (Que es la Hipoacusia, s.f)

Nota: es en donde no existe una diferencia audiométrica mayor a 10 dB entre vía aérea (línea continua) y una audiometría por vía ósea (línea punteada)

De igual manera la Hipoacusia se clasifica, según la parte del oído que esté afectada.

2.6.15.1 Audiograma de Hipoacusia Conductiva

También llamada hipoacusia de transmisión, es una alteración ocurrente en el oído externo y/o oído medio.

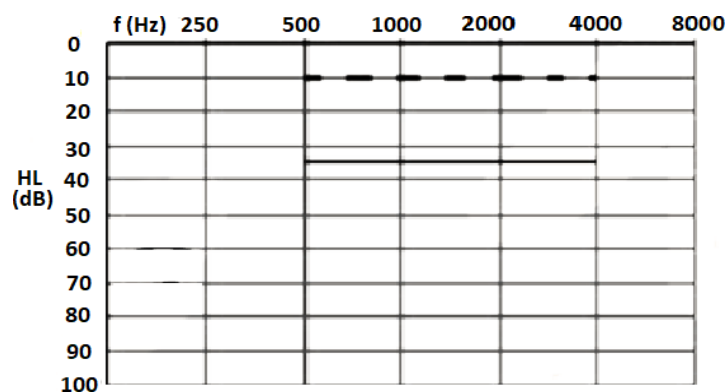


Figura 35. Diferencia entre el resultado de una audiometría aérea (línea continua) y una audiometría por vía ósea (línea punteada). Tomado de (Que es la Hipoacusia, s.f)

Nota: El umbral por vía aérea es menor al umbral por vía ósea, debido a un daño en el oído externo y/o medio.

2.6.15.2. Audiograma de Hipoacusia Perceptiva

También llamada hipoacusia neurosensorial, es el tipo de afección en donde existe una lesión en el oído interno y/o en los nervios del sistema auditivo.

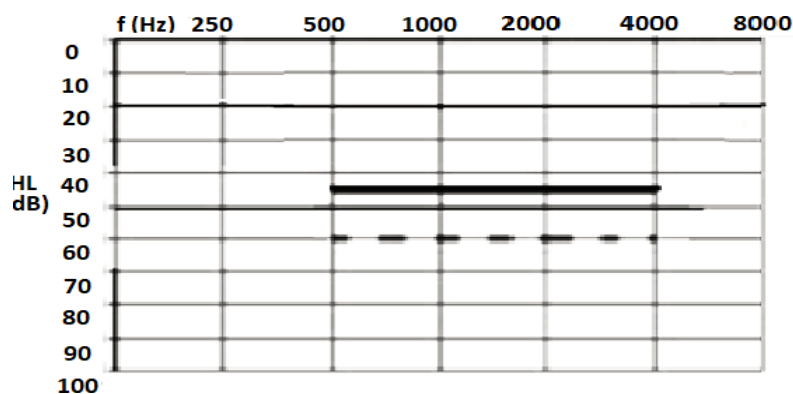


Figura 36. En la hipoacusia neurosensorial, el umbral detectado por vía ósea está por debajo del nivel normal, llevando consigo al umbral por vía aérea. Tomado de (Que es la Hipoacusia, s.f).

2.6.15.3. Hipoacusia Mixta

Como su nombre lo indica, es la afección que presenta problemas en todas las partes del oído, con igual o distinto daño entre las distintas estructuras del sistema auditivo. El resultado de este examen puede variar considerablemente según el tipo de daño y si es que existe mayor daño el oído interno que en el externo o viceversa (¿Qué es la hipoacusia?, s.f).

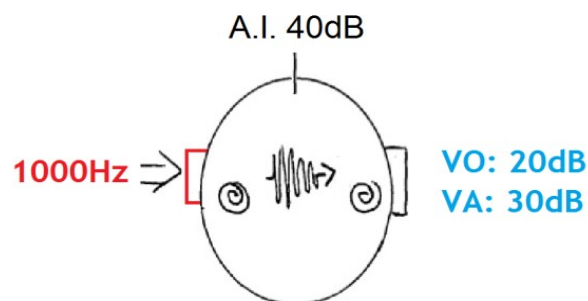


Figura 37. Gráfico que representa el área de daño según la parte del oído y el tipo de hipoacusia. (Que es la Hipoacusia, s.f).

2.6.16. Atenuación Interaural (A.I)

Es la disminución energética del sonido, producida a través del cráneo, cuando las ondas viajan de un oído a otro, por ende, para evitar este efecto y obtener

resultados satisfactorios en audiometrías, es necesario aplicar enmascaramiento al oído contralateral. Este efecto se produce con sonidos superiores a 40 dB HL (Katz, 2014).



Aplico 10dB.	Pasan 0dB.	Escucha 0dB.
Aplico 20dB.	Pasan 0dB.	Escucha 0dB.
Aplico 30dB.	Pasan 0dB.	Escucha 0dB.
Aplico 40dB.	Pasan 0dB.	Escucha 0dB.
Aplico 50dB.	Pasan 10dB.	Escucha 0dB.
Aplico 60dB.	Pasan 20dB.	Escucha 0dB.
Aplico 70dB.	Pasan 30dB.	Escucha 10dB.
Aplico 80dB.	Pasan 40dB.	Escucha 20dB.

Figura 38. Comportamiento del A.I según el nivel enviado para 1000 Hz. Tomado de (Enmascaramiento – Audiología para estudiantes, s.f)

2.6.17. Curva Sombra

Cuando existe una diferencia amplia de HL entre ambo oídos (más de 40 dB), se produce un fenómeno también llamado Falso Rinne Negativo, el cual consiste en una curva del oído sano a través del oído sordo y se dibuja una respuesta igual pero desplazada, por ejemplo, en una anacusia (si aplicamos 70 dB en el oído anacúsico, el oído sano recibirá 30 dB) (Lloyd, 1978).

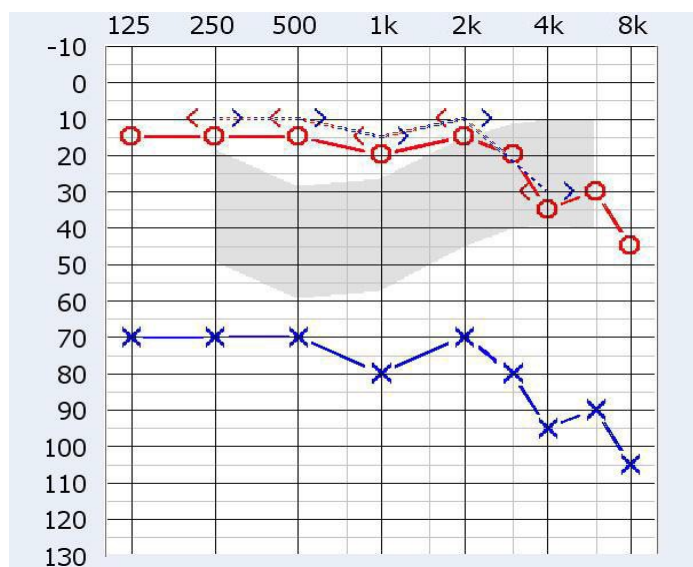


Figura 39. Curva sombra del oído derecho, similar a la del oído izquierdo con evidente pérdida. Tomado de (Enmascaramiento – Audiología para estudiantes, s.f)

2.6.18. Enmascaramiento

En audiología para evitar la curva sombra y cuando existe una diferencia amplia entre los niveles liminares de vía ósea y vía aérea, es necesario aplicar un enmascaramiento, el cual consiste en envío de una señal de ruido blanco de banda estrecha (ruido con disminución de intensidad en las octavas aledañas, superior e inferior) del tono enviado al oído contralateral. La señal no tiene que ser lo suficientemente fuerte como para evitar el efecto Interaural y lo suficientemente débil para evitar sobre enmascaramiento. Según Goldstein y Newman (1994), si el nivel entre ambos oídos según la frecuencia, supera a los valores de la siguiente tabla, será necesario aplicar enmascaramiento:

Tabla 14.

Nivel máximo en dB, para no aplicar enmascaramiento según la frecuencia

Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Diferencia de HL igual o mayor entre ambos oídos (dB)	35	40	40	40	45	50	50

Tomado de (Newman, 1994)

El enmascaramiento empleado debe ser 15 dB o al menos 10 dB por encima del umbral auditivo del oído que enmascaremos. Para obtener un enmascaramiento efectivo se puede seguir la siguiente tabla para eliminar la lateralización:

Tabla 15.

Nivel necesario en relación al tono de exploración para cada frecuencia

Frecuencia (Hz)	Nivel (dB)	Enmascaramiento (dB)
250	40	55
500	35	50
1000	55	65
2000	55	70
3000	55	70
4000	55	70
6000	55	70
8000	60	75

Tomado de (Marco, s.f)

La simbología con enmascaramiento se representa de la siguiente forma:

△ Oído derecho, vía aérea

□ Oído izquierdo, vía aérea

Por lo tanto, no enmascarar cuando la diferencia entre vía y aérea y vía ósea, sea menor a 10 dB, cuando los umbrales óseos no tengan una diferencia mayor a 10 dB y únicamente en el oído enfermo.

2.6.19. Evolución típica audiométrica

Es el proceso por el cual se evidencia una disminución del umbral auditivo mediante etapas de evolución, es común en sordera profesional y posee estadísticamente un resultado similar, sin embargo, varía de acuerdo al tipo de profesión, edad y/o años de exposición. La pérdida auditiva comienza primeramente en frecuencias altas, para posteriormente pasar a medias y afectar por último a las graves (Martínez, 1969).

Las 4 fases de disminución de la capacidad, basadas en el índice de Larsen son las siguientes:

- **FASE I:** Se evidencia una pendiente decreciente de hasta 40 dB en el eje de HL, con un pico en la frecuencia de 4000 Hz pérdida de hasta 40 dB en la zona de 4.000 Hz. Es reversible al terminar la exposición al ruido y reposar al menos 24 horas para recuperar la audición.
- **FASE II:** Se evidencia una pérdida de 20 a 30 dB en el área de 4.000 Hz principalmente, afectando ciertas veces a las frecuencias aledañas como 3 y 6 KHz). No posee ninguna disminución en la integridad de la comprensión del lenguaje, pero si una afección en el brillo de la música

(agudos armónicos de instrumentos musicales). También se la llama como escotoma traumático de tipo 1 y es reversible en la frecuencia de 6000 Hz en la mayoría de casos.

- **FASE III:** Existe una disminución con un pico de hasta 40 dB en la frecuencia específica de 4000 o Hz, dependiendo muchas veces del tipo de profesión Hz. Se agrava y aumenta el escotoma, transformándose en una cubeta traumática con un efecto de campana invertida, siendo afectadas de manera irreversible las frecuencias aledañas. La inteligibilidad de la palabra ya empieza a afectarse.
- **FASE IV:** También conocida como sordera social. Consiste en una pérdida que afecta a las frecuencias conversacionales y a las frecuencias bajas en las últimas fases. Se evidencia una pendiente o recta desde las frecuencias bajas o medias hasta el escotoma ubicado en 4000 Hz, en ciertas ocasiones, las frecuencias mayores a 4 KHz se ven igual o más afectadas.

Interpolando las 4 fases de la sordera profesional, se tiene el siguiente resultado:

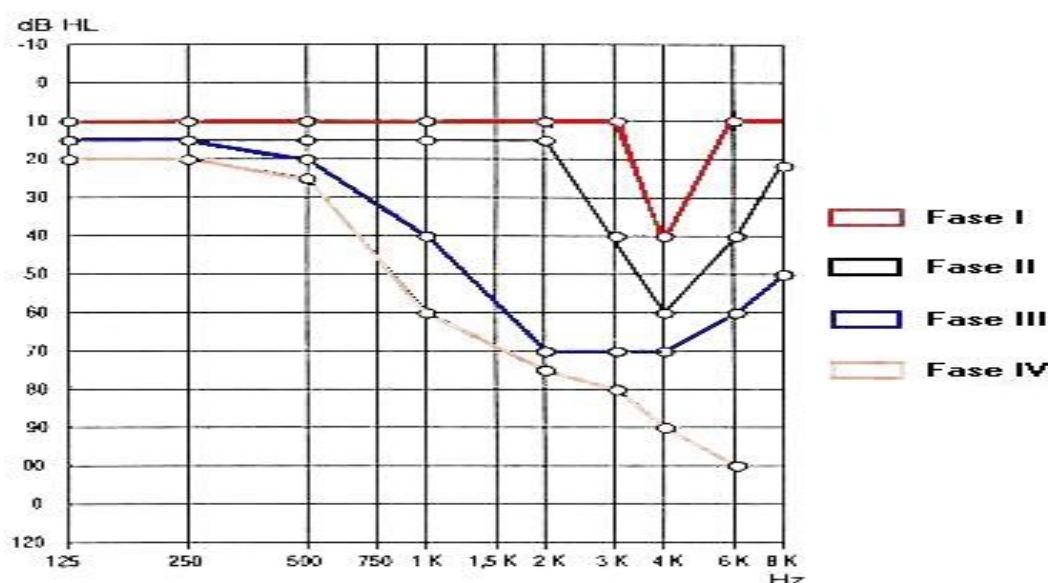


Figura 40. Evolución de cada fase a través del tiempo, producidas por el exceso de ruido (escotoma en 4 KHz). Tomado de (Martínez, 1969)

Nota: La Presbiacusia no presenta escotoma en 4000 Hz a diferencia de la sordera profesional. La fase 1 tiene una duración de 0 a 2 años, la 2 de 10 años, la 3 ocurre después de 20 años y la última fase ocurre tras 35 años de exposición laboral continua.

2.7. Efectos del Ruido en el ser humano

Una exposición larga y/o excesiva al ruido industrial o a la música amplificada, tiene repercusión en la salud no solo auditiva del cuerpo humano, sino también en otros órganos, así como consecuencias psicológicas. Tanto la música como el ruido de fábrica tienen consecuencias parecidas al exponerse a altos niveles de presión sonora (Cabaní, 2005).

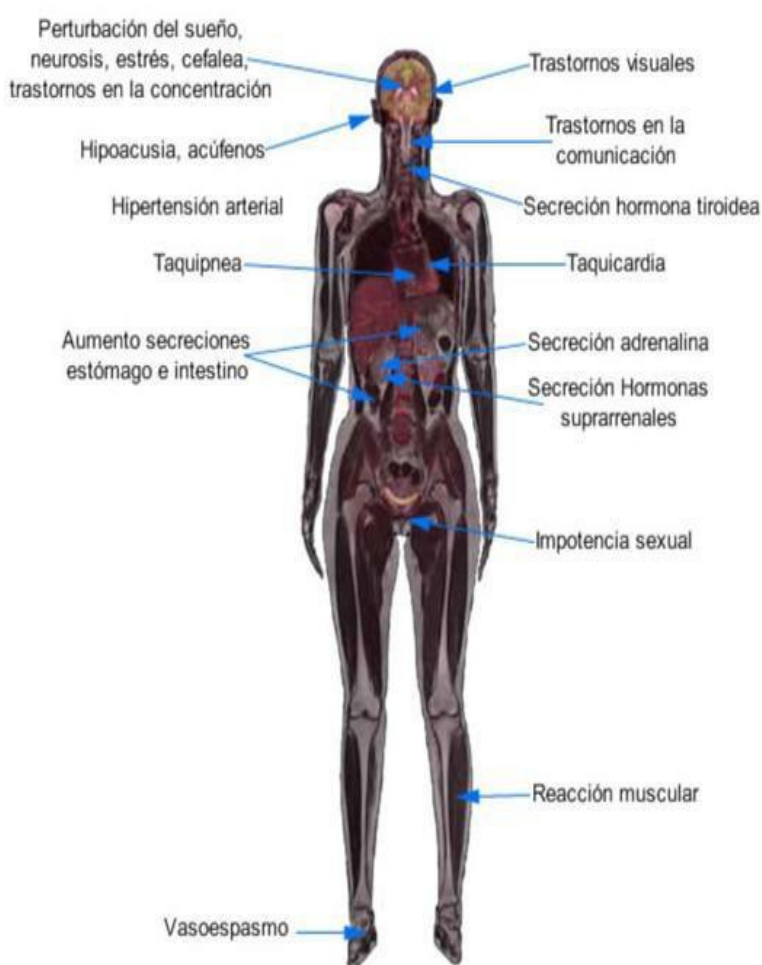


Figura 41. Mapa corporal de los efectos del ruido industrial en un ser humano. Tomado de (Chacín, 2002, p. 65)

2.7.1. Efectos no clínicos

Los efectos, dependen directamente del tiempo de exposición y del nivel de presión sonora que reciba el sistema auditivo. Lo que se percibe en primera instancia es la molestia cuando se sobrepasa la zona de confort auditivo (70 a

80 dBa). Posteriormente se percibe un cosquilleo y al llegar a un nivel de 120 dBa o mayor, el dolor estará presente (Beranek, 1986). Niveles superiores a 90 dBa, provocan una menor fidelidad, debido a las distorsiones propias del oído, así como del enmascaramiento como mecanismo de protección del sistema auditivo (Miyara, 2003). Al disminuir el nivel de presión sonora, el oído después de cierto tiempo recupera su integridad y linealidad (Miyara, 2003).

2.7.2. Efectos clínicos no auditivos

Existen diversos síntomas físicos y psicológicos dentro del organismo humano, que se producen por una excesiva exposición al ruido. Entre estos síntomas se describen la hipertensión arterial momentánea, dolores de cabeza, nerviosismo, ansiedad, estrés, taquicardia, trastornos del sistema digestivo, hiperventilación, disminución de la resistencia física y concentración y déficit de atención (Cabaní, 2005).

Las personas expuestas a ruidos muy intensos, poseen una incidencia de hasta 4 veces más de contraer o desarrollar ataques cardíacos, neurológicos o digestivos. Esto se pudo comprobar en poblaciones aledañas a aeropuertos (Miyara, 2003)

Los sonidos altos, además pueden producir mareos, irritabilidad y pérdida de equilibrio debido a las vibraciones provocadas en el órgano receptor del equilibrio ubicado cerca al oído interno, las cuales interfieren con los nervios auditivos (Merino, 2006)

2.7.3. Efectos Auditivos

El efecto más importante sobre el sistema auditivo, es la pérdida o desplazamiento del umbral auditivo originada por la exposición al ruido en exceso de manera rutinaria.

En primer lugar, la pérdida auditiva puede ser también de carácter natural como la **Presbiacusia**, que es el desplazamiento del umbral auditivo a través de la edad. Esto se debe a un desgaste del órgano interno y la exposición a ruidos cotidianos dentro de la sociedad, determinando que en poblaciones poco ruidosas se tiene un índice de Presbiacusia menor a que en ciudades mucho

más modernizadas e industrializadas como Nueva York. Cabe mencionar que el porcentaje de personas con presbiacusia, aumenta con la edad (Chavolla, 2013)

Tabla 16.

Índice porcentual de Presbiacusia según la edad

Edad	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
%	1	2	3	5	7	10	14	21	33	50

Tomado de (Chavolla, 2013, p. 98)

Se asignó el nombre de **Socioacusia**, el cual no es más que un término aplicado a una presbiacusia dentro de personas en un ambiente industrializado.

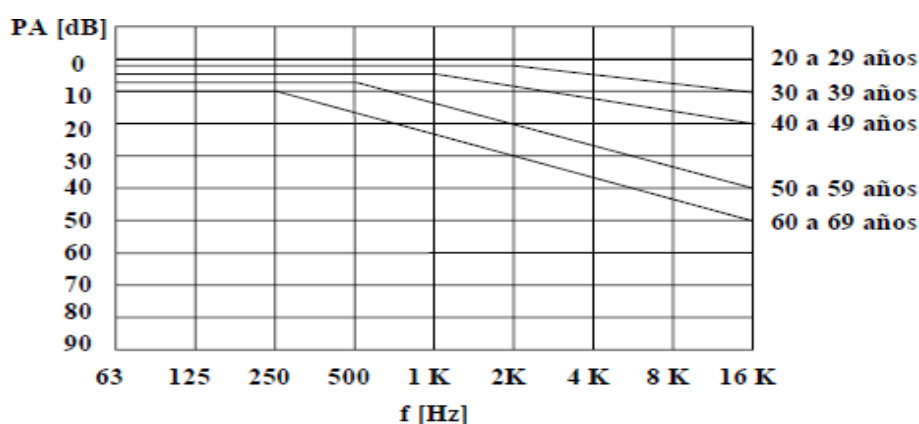


Figura 42. Presbiacusia promedio en seres humanos a través de los años.

Tomado de (Scherzer, 2008, p. 45)

2.7.3.1. Desplazamiento Temporal del Umbral Auditivo

Al momento de que una persona es expuesta a ruidos fuertes, sobre todo por un breve período de tiempo, posee un corto y temporal aumento del umbral auditivo, el cual desaparece después de algunas horas. En la mayoría de casos es reversible si es que el ruido no es repentino (impulsivo) y de un nivel de presión sonora demasiado alto como para producir daño inmediato (armas de fuego, fuegos artificiales, explosiones, etc.) (Llorente, 2012).

Los ruidos con mayor carga energética en altas frecuencias, producen un mayor efecto en el desplazamiento del umbral, en exposiciones. Este efecto puede ser producido también por exposiciones largas de tiempo de más de 80 dB y 8 horas. La afectación se produce no exactamente en la frecuencia de mayor incidencia, sino en las frecuencias de entre media y una octava superior (Merino, 2006).

2.7.3.2. Sordera Profesional

Se considera una de las afectaciones más arraigadas en sociedades industrializadas y la disminución o pérdida total de la audición en personas trabajadoras expuestas a altos niveles de ruido y millones de estos trabajadores, expuestos a niveles mayores a 85 dB por jornadas diarias laborales de 8 horas, cabe recalcar que el tipo de pérdida depende del tipo de profesión (del Carmen Martínez, 1995).

La organización internacional de Normalización ISO, estableció una norma (ISO 1999) que proporciona el porcentaje de riesgo de contraer una sordera profesional en función de los años de exposición y el nivel sonoro promedio para jornadas de 8 horas laborales, considerando además que el trabajo laboral inicie a la edad de 20 años

Tabla 17.

Porcentaje de probabilidad de contraer sordera profesional.

Nivel sonoro promedio[dBA]	Años de exposición									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
80	0	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	33	
100	12	29	37	42	43	44	44	41	35	
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	

Tomado de (Norma ISO:1999, s.f)

2.7.3.3. Factores de Riesgo

El daño provocado en el oído viene dado directamente por el tiempo de exposición y el nivel, en cuanto a la fuente sonora. Con respecto a las condiciones del lugar de trabajo, las vibraciones pueden ser transmitidas por el suelo y afectar el oído, además de que la reverberación puede potenciar el nivel de presión sonora de una fuente y por ende provocar más daño. Por lo tanto, lugares más abiertos, son menos perjudiciales para la salud. Otros factores importantes son, la edad de la persona, la susceptibilidad al ruido (existen personas más sensibles que otras) y antecedentes (Chavolla, 2013).

2.7.3.4. Lesión Anatómica

Es el daño degenerativo en las células ciliadas y otros componentes internos del oído. Dichas células vibran al producirse un estímulo sonoro, si el estímulo se detiene, las células se recuperan y regresan a su posición original (fatiga auditiva), pero si la exposición continúa, se dañan y desaparecen, produciendo cambios químicos en las estructuras de tejidos con un daño permanente e irreversible en la audición, con una restitución nula de las células. En principio se afecta la espira basal de la cóclea, área correspondiente a las frecuencias agudas (principalmente en 4000 Hz) para posteriormente pasar a la espira media (frecuencias conversacionales) y por último a la espira apical, encargada de las frecuencias graves y a su vez más resistentes al daño.

Después de verse afectadas las células ciliadas, empiezan a dañarse las células del sostén y por último los tejidos del nervio auditivo (Llorente, 2012).

2.7.3.5. Diploacusia

También llamada como reclutamiento, es la sensación de percibir dos sonidos de una misma frecuencia y determinada intensidad como dos tonos distintos para cada oído. Ocurre debido a una hipoacusia unilateral, es decir un mayor desplazamiento del umbral auditivo en un oído en comparación al otro. El daño auditivo no es el mismo en ambos oídos y cuando el estímulo sonoro, llega a la zona de la cóclea, estimula los tejidos y células cercanas ya que las células que deberían excitarse están dañadas o ya no existen, por lo que el sistema nervioso interpreta incorrectamente el estímulo como un sonido diferente al que realmente es (centroauditivo, s.f).

2.7.3.6. Tinnitus

También conocidos como acúfenos, son zumbidos percibidos en los oídos ante la ausencia de una fuente sonora que provoque dicho estímulo. La patología es de carácter interno, precisamente en la cóclea y en el 90% de los casos va de la mano con la pérdida auditiva, por lo que no es común el acúfeno en personas con audición normal. Es un síntoma temprano de un trauma acústico, prediciendo el desplazamiento del umbral auditivo en la frecuencia que se percibe el acúfeno. Aparece progresivamente, primero de manera minuciosa y

desaparece en la noche o el descanso. Puede darse también después de una larga exposición al ruido o a un sonido fuerte e impulsivo y existen casos de tinnitus prolongadas y constantes en pacientes con antecedente de trauma acústico severo. Los factores de riesgo ajenos a la audición, pueden también desencadenar una tinnitus, como la ansiedad, el estrés, el estrés, la ototoxicidad (aspirinas), cafeína, tabaco, hipertensión o cambios bruscos de presión. Estadísticamente las 2/3 partes de los afectados son personas de sexo masculino y el 78% son mayores de 45 años y afecta del 10% al 15%, de la población total (Morales, 2009).

2.7.3.7. Otitis

Son un amplio grupo de enfermedades inflamatorias, causadas principalmente por el mal funcionamiento de la trompa de Eustaquio, produciendo muchas veces una infección e irritación principalmente en el oído medio, en donde puede existir una acumulación de líquido (pus), provocando una hipoacusia leve por la obstrucción del canal auditivo. Este tipo de infecciones deben ser tratadas lo más pronto posible para evitar futuros daños y complicaciones en el sistema auditivo, (Llorente, 2012).

2.7.3.8. Sordera Súbita

Se conoce también como pérdida súbita auditiva neurosensorial. Es una pérdida rápida y sin causa aparente de la audición. Generalmente ocurre en un solo oído y puede ocurrir progresivamente de manera lenta o de manera rápida y permanente. Afecta a una de 5000 personas al año, y un 90% de personas con sordera súbita, pierden la audición en un oído. Las causas son muy poco conocidas, sin embargo, las principales razones son la ototoxicidad y los virus, por ende, el problema se centra en el oído interno y neurosensorial (Sordera súbita, s.f).

2.7.3.9. Hiperacusia

Se denomina a la Hiperacusia, como la reducción del índice de tolerancia subjetivo al sonido del ambiente para ciertas frecuencias. Se pierde el rango dinámico del oído y se posee una menor captación e integración de los cambios y elevaciones de intensidad. Un 8% de la población, posee hiperacusia

(Andersson, 2002) y sufren de una percepción exagerada e incómoda del sonido. Las principales causas son la irritabilidad de las células ciliadas, daño neuro sensitivo y migraña. Se recomienda usar protección auditiva además de que ingerir ciertos medicamentos para las convulsiones, ayudan a tratar la hiperacusia (Szczepaniak, 1996).

2.8. Ototoxicidad

Se denomina ototoxicidad al efecto dañino reversible o irreversible de diversos medicamentos y sustancias, tanto al oído externo como el oído medio, pero con mucha más repercusión en el oído interno, la cóclea y al aparato vestibular, responsable del equilibrio, así como en los nervios transmisores dedicados al envío de información hacia el cerebro. Existe una lista específica y demostrada de fármacos que perjudican de manera nociva al sistema auditivo, entre ellos hay antibióticos amino glucósidos, diuréticos, antimálicos, entre otros. Los factores de riesgo son principalmente la edad, sobre todo en niños y ancianos; y la insuficiencia renal (Mercado, 2007).

2.9 Métodos de medición audiométrica

- **Método de ascensión y descenso:**

Después de una respuesta positiva del paciente, se disminuye el nivel en pasos de 10 dB hasta que la respuesta desaparezca y se empieza por una nueva serie ascendente en incrementos de pasos de 5 dB. Se continúa hasta que se produzcan tres respuestas positivas al mismo nivel de un máximo de cinco series ascendentes. Este nivel se denomina como el nivel liminar de audición. Si se han obtenido menos de tres respuestas al mismo nivel sobre cinco series ascendentes, se presenta un sonido de ensayo a un nivel de 10 dB por encima del nivel de la última respuesta. A continuación, se repite el procedimiento de ensayo general: se disminuyen 10 dB tras una respuesta, se aumentan 5 dB hasta que se produzca una respuesta. Se puede aplicar el nivel liminar en el 50% de las veces o dos de cada tres veces en la versión recortada (Normativa UNE-EN 60645, 2015).

- **Método por Encuadre**

Después de dar positivo ante el estímulo, se sube el nivel del sonido en 5 dB y se empieza una serie descendente, la cual se reduce el nivel en pasos de 5 dB hasta que no exista ninguna respuesta. Entonces se disminuye de nuevo el nivel enviado en 5 dB y se empieza una nueva serie ascendente a partir del último nivel positivo. Se deben completar 3 series ascendentes y 3 descendentes o 2 series de cada uno en el método recortado (Normativa UNE-EN 60645, 2015). *Ambos métodos deber dar valores similares.

Si los niveles obtenidos difieren en más de 10 dB a una frecuencia determinada, se recomienda repetir el procedimiento. Se procede hasta que los dos oídos se hayan examinado.

- **Método de Hughson-Westlake**

Es un método ampliamente usado en centros de valoración auditiva, el cual combina los métodos anteriormente mencionados y es el que se aplicará en los participantes.

- **Método de Hood**

Es un método de enmascaramiento que se usa para participantes que poseen Hipoacusia unilateral (ver metodología).

2.10. Clasificación de la capacidad auditiva según varios métodos

Existen varios métodos de valoración auditiva usados tras la obtención de los niveles liminares en la audiometría, algunos de los cuales serán utilizados para valorar a los participantes de la investigación.

Métodos como el A.M.A o el A.A.O son usados para valorar el porcentaje de capacidad auditiva tanto de manera unilateral en los oídos derecho o izquierdo, como de manera global y clasificarlos según el grado de pérdida. Ambos métodos son usados para frecuencias conversacionales (500 a 4000 Hz).

2.10.1. Método AAO

Otro método usado ampliamente es el de la American Academy of Otolaryngology para el cálculo de porcentaje de pérdida auditiva unilateral o global, en función de un valor promedio obtenido de promedio de los umbrales para 500, 1000, 2000 y 3000 Hz. Posteriormente se realiza una resta del promedio de cada oído con el valor de referencia de 25 dB para después multiplicarlo por 1.5. Finalmente se obtiene el % de deterioro para cada oído.

Para la obtención de pérdida auditiva global, se toma el porcentaje más alto, es decir del mejor oído y se lo multiplica por cinco, este valor se le resta el valor del porcentaje menor (peor oído) y todo el resultado se divide para 6. De esta manera se obtiene un valor porcentual de pérdida auditiva global.

Ejemplo:

Tabla 18.
Tabla de desarrollo para el método AAO

HL por Oído:	Frecuencia (Hz)				Promedio	Diferencia con 25 dB	Multiplicación por 1.5	% de Deterioro
	500	1000	2000	3000				
HL Oído Derecho	15	25	45	55	35	10	15	15%
HL Oído Izquierdo	30	45	60	85	55	30	45	45%

Pérdida Auditiva Global:

$$\% P. A. G = \frac{(\% \text{ Mejor oído } \times 5) + \% \text{ Peor oído}}{6} \quad \text{Ecuación 6}$$

Remplazando se obtiene:

$$\frac{(15\% \times 5) + 45\%}{6} = \frac{120}{6} = 20\% P. A. G$$

*Este método no será incluido en la metodología debido a que la frecuencia de 3000 Hz, no será parte de la medición audiométrica.

2.10.2. Clasificación A.M.A

Por sus siglas “American Medical Association”, es un método de valoración conversacional, midiendo el porcentaje de capacidad auditiva unilateral y bilateralmente y a diferencia del método AAO, toma los niveles liminares de las mismas frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz, pero en lugar de 3000 Hz, usa la frecuencia de 4000 Hz, lo cual la hace un método con mayor uso debido a que 3000 Hz es una frecuencia de media octava usada en casos de exploración más profunda y que no todos los tipos de audiómetros posee.

*Este método si será analizado en la parte metodológica de esta tesis, así como un ejemplo del desarrollo estará colocado en la parte mencionada.

2.10.3. Clasificación SAL

En inglés “Speech Average Loss”. Es utilizada para calcular el índice de Hipoacusia en frecuencias conversacionales. Se aplica en 500, 1000 y 2000 Hz para cada uno de los oídos. El promedio de las 3 frecuencias en el mejor oído se traslada a una tabla de clasificación con el grado de hipoacusia. Si la diferencia de los promedios entre ambos oídos es mayor a 25 dB, se clasifica al caso a un grado peor que el correspondiente según el mejor oído.

Tabla 19.

Índice de hipoacusia según la Clasificación SAL

Clasificación SAL		
A	< 16	Buena
B	16 - 30	Normal
C	31 - 45	Hipoacusia Leve
D	46 - 60	Hipoacusia Moderada
E	61 - 90	Hipoacusia Severa
F	> 90	Hipoacusia Profunda
G	Sin percepción	Anacusia

Tomado de (Katz, 2014)

Por otro lado, existen otras valoraciones de la capacidad auditiva en frecuencias agudas como el índice **Larsen** o el Índice de **ELI** para valorar la pérdida debido a la sordera profesional, dicho tipo de sordera, posee un escotoma en 4000 Hz (en el nivel de audición, es una caída pronunciada en dicha frecuencia y que considerablemente es mayor en comparación al resto de frecuencias) y es un

indicio de que tanta es la predisposición a desarrollar Hipoacusia a una edad temprana.

Ambas clasificaciones, están citadas en la parte metodológica y serán utilizadas para el análisis de la capacidad auditiva en los participantes.

Existen otros métodos que son ampliamente usados en audiología y aunque se los utiliza en casos extremos de afección auditiva, es bueno mencionarlos:

2.10.4. Método S.I.S.I

También llamado método de detección de pequeños cambios de intensidad, es rápida y sencilla de practicarla y sirve para detectar reclutamiento o Diploacusia. Consiste en un total de 20 incrementos sobre 20 dB, encima del umbral y que son enviados cada 5 segundos, cada uno de los incrementos posee una amplitud máxima en 50 ms y se mantiene durante 200 ms, para posteriormente disminuir al nivel original otros 50 ms. El nivel de intensidad de cada aumento es de 1 dB. Si el paciente percibe un número menor al 30% de las veces, la prueba es negativa, si lo siente entre el 30 y 70%, existe sospecha de reclutamiento y si es mayor a 70%, existe una Diploacusia o reclutamiento (Test de SISI. Estudio del reclutamiento, 2014) (El audiómetro para las pruebas no posee tal característica).

2.10.5. Métodos de Fatiga Auditiva

- **Prueba de Cahart:** Llamada también adaptación auditiva o fatiga pre-estimuladora, es una prueba de decaimiento de tono (Tone-Decay), en donde se estimula al paciente con un sonido continuo y de larga duración. Si el daño del umbral está entre 10 a 15 dB en 1 minuto, el paciente no presenta Hipoacusia, si existe un rango de 15 a 30 dB, el paciente tiene una Hipoacusia sensorial con afectación en el órgano de Corti y si hay un daño mayor a 30 dB en el mismo período de tiempo, hay una hipoacusia neurosensorial con afectación retro laberíntica.
- **Test de THEILGAARD:** Funciona en la frecuencia inmediata superior a la más afectada del umbral. Se requiere el valor del umbral para la frecuencia de 2 Khz, posteriormente se envía un tono de 1500 Hz con

intensidad de 100 dB por 5 minutos y se reposa el oído durante otros 5. Por último, se determina el umbral para 2000 Hz.

- **Prueba de PEYSER:** Consiste en determinar el nivel liminar para 1000 Hz para posteriormente enviar un tono de esa misma frecuencia a 100 dB durante 3 minutos. Se reposa durante 15 segundos y se calcula nuevamente el nivel liminar.
- **Prueba de Wilson:** Consiste en localizar el umbral auditivo a 4000 Hz, para después exponer al oído a un tono de 2 Khz a 80 dB por un total de 8 minutos. Tras esto, un reposo de 2 minutos y determinar el umbral en la frecuencia original.

Estos tres últimos test, son bastante sencillos de realizar y se los puede aplicar en la práctica. En cualquiera de ellos si el umbral se desplaza más de 10 dB en comparación al valor inicial, el individuo tiene una predisposición a sufrir de una sordera profesional (Cabaní, 2005).

*Ninguno de estos métodos será aplicado en los participantes

2.11. Tipos de protectores auditivos

Existe dos tipos de protección auditiva, los primeros son los tapones de oídos insertados, los cuales tienen el objetivo de sellar el conducto auditivo externo, para que no fluya el aire (Cuba, s.f). Existen tres tipos de estos:

- **Pre-moldeados:** Son flexibles y ya tienen un tamaño pre establecido. A su vez existen dos modelos que son los de pestaña única y triple. Se recomienda cambiarlos de manera periódica debido a su uso.
- **Tapones moldeados a la medida:** A pesar de que también poseen un tamaño único, al ser insertados en el canal auditivo se expanden y acoplan al tamaño de éste. Pueden ser lavados y rehusados. Una vez que pierden su capacidad elástica, deben ser remplazados.
- **Tapones Personalizados:** Por motivos de cirugía o malformaciones del oído, existen personas que no pueden usar los 2 tapones mencionados anteriormente, por lo que deben usar unos realizados a medida para que se ajusten de manera exacta a la forma del canal auditivo.

En segundo lugar, existen los protectores auditivos de tipo **Orejeras**, los cuales son colocados en las orejas y cubren su alrededor, reduciendo la incidencia energética sobre el pabellón auricular. Su efectividad depende de su grosor, material y la hermeticidad entre el cojín y la cabeza (Cuba, s.f).

Cada tipo de protector, posee una atenuación nominal del protector, que debe estar estipulada en el empaque. El valor nominal es para 1 Khz y se especifica la atenuación por bandas de octava en el resto de frecuencias.

La ecuación de protección auditiva efectiva, viene dada por la siguiente formula:

$$\Delta L_{ef} = -10 \log \left[\left(\frac{t_2}{T} * 10^{\left(\frac{-\Delta L}{10} \right)} \right) + \frac{t_1}{T} \right] \quad \text{Ecuación 7}$$

Fuente: ISO 4869-4 "Protectores Auditivos"

En donde:

ΔL_{ef} es la protección efectiva en dB

ΔL es la atenuación nominal del protector dB

t_1 es el tiempo de exposición sin el protector en horas

t_2 es el tiempo de exposición con protector en horas

$T = t_1 + t_2$ es el tiempo total de exposición en horas

2.12. Legislación Laboral

Existen varios decretos y leyes en Ecuador, en relación a la contaminación acústica y salud. Entre ellos existen los niveles máximos permitidos para fuentes móviles como autos, buses y motos, los cuales rondan de 85 a 88 dB como límite; y las leyes de niveles máximos permitidos según la zona (industrial, comercial, residencial, etc.) y según el horario (diurna o nocturna).

Tabla 20.

Niveles sonoros correspondientes a los Tipos de zonas

TIPO DE ZONA SEGÚN EL USO DE SUELO	NIVEL SONORO CORREGIDO (NPSf) en DB(A)		NIVEL SONORO EQUIVALENTE EN DB(A)	
	DE 07H00 A 22H00	DE 22H00 A 07H00	DE 07H00 A 22H00	DE 22H00 A 07H00
	Zona hospitalaria, educativa. Protección Ecológica y Patrimonio Cultural.	45	35	60
Zona de Uso de Suelo Múltiple. Servicios Sociales, Cultura, Bienestar Social, recreación y deporte.	50	40	65	55
Zona de Suelo de recursos naturales, agrícola residencial e industrial 1 y 2	60	50	70	60
Zona Industrial 3 y 4. Equipamiento de instalaciones de infraestructura especial	70	65	75	65

Tomado de (Ordenanza Municipal Metropolitana Nro. 447., s.f)

De igual forma existe un decreto del IESS “Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social”, el cual establece según el decreto 2393 “Reglamento de seguridad y salud de trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo”, la dosis máxima de nivel sonoro y exposición por horas a la que un trabajador debe estar expuesto.

Tabla 21.

Dosis de exposición según el decreto ejecutivo 2393

Nivel sonoro (dBA- Lento)	Tiempo de exposición máxima por jornada (horas)
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0.25
115	0.125

Tomado de (IESS.com, 2018)

3. METODOLOGÍA

3.1. Número de muestra

Este estudio será realizado dentro de la Universidad de las Américas, tomando en cuenta a estudiantes y docentes de adentro y fuera de la institución para aumentar la muestra. El total de estudiantes dentro de la escuela de música es de 246.

Para calcular la muestra necesaria para que la encuesta sea válida y el margen de error sea lo menor posible, se aplicará la siguiente fórmula estadística:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z_\alpha^2}{e^2(N - 1) + \sigma^2 Z_\alpha^2}$$

Ecuación 8

En donde por orden prioritario de representación:

N: Valor total de la población. (246 total de músicos en la escuela de la UDLA)

n: Tamaño de la muestra o valor contable requerido, según los factores de nivel de confianza y margen de error escogidos.

σ : Desviación estándar de la población, es la variación con respecto a la media aritmética de un grupo, que generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor estimado en base al criterio del encuestador o a partir de una pequeña muestra o en su defecto si no se tiene el valor es 0,5.

Z_α : Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación a un porcentaje de confianza, dicho valor queda a criterio del encuestador, sin embargo, en investigaciones científicas se suele usar un valor de nivel de confianza de al menos 90% y un valor recomendado de 95%. Para esta investigación se usará el valor de Z de una distribución normalizada de 1,96; correspondiente al 95%.

Tabla 22.
Valores de Z correspondientes al nivel de confianza deseado.

Nivel de confianza deseado	Puntuación z
80%	1.28
85%	1.44
90%	1.65
95%	1.96
99%	2.58

e = Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), por lo tanto, es un valor que queda a criterio del encuestador. El margen de error que se utilizará será del 0,05%.

Entonces, remplazando datos:

$$n = \frac{246 \times 0,5^2 \times 1,64^2}{0,05^2(246 - 1) + 0,5^2 \times 1,64^2}$$

El resultado final de la muestra requerida es de 150 alumnos del total de una población total de 246; con un valor de confianza y de margen de error del 95% y 5% respectivamente. Se tomará el valor de 0,5 para la desviación estándar, debido a que se carece del mismo.

En el caso de que la muestra sea menor a 150 alumnos, se despejará el valor de e, para obtener el margen de error resultante.

$$e = \sqrt{\frac{z_{\alpha}^2 \sigma^2 (N - n)}{n(N - 1)}}$$

Ecuación 9

3.2. Métodos de Evaluación Auditiva y Clasificación

Existen varios métodos para en análisis y clasificación de la Hipoacusia Profesional, según factores como edad y tipo de pérdida auditiva. Entre ellos están el modelo ELI, el SAL, A.M.A, AAO entre los más usados por Audiólogos y Otorrinolaringólogos. (Palacios, 2010).

3.2.1. Índice ELI

Llamado también Early Loss Index o índice de pérdida temprana, es una evaluación de la capacidad auditiva (Hipoacusia Profesional) en pacientes con una pérdida en 4000 Hz en el peor oído, y sirve para determinar un riesgo temprano de pérdida auditiva. En otras palabras, se logra determinar el grado de trauma acústica existente. Para eso es requerido realizar una corrección en dB según la edad debido a la Presbiacusia, se denomina **factor de corrección de Presbiacusia (FCB)**. Es decir, se toma el valor en 4 Khz y se resta el factor de corrección según el sexo y la edad.

Tabla 23.

Factor de corrección de Presbiacusia

Corrección por Presbiacusia en 4000 Hz, dB		
Edad	Mujeres	Hombres
<30	0	0
30	2	3
35	3	7
40	5	11
45	8	15
50	12	20
55	15	26
60	17	32
65	18	38

Después se determina la clasificación según el grado de trauma: Tabla 24.

Clasificación según el índice ELI

ESCALA ELI		
Pérdida audiométrica dB	Grado ELI	Clasificación
< 8	A	Excelente
8 - 14	B	Buena
15 - 22	C	Leve
23 - 29	D	Sospecha o Inicio de Sordera
> 30	E	Claro indicio de sordera

3.2.2. Índice Larsen

Es un índice para clasificar los diferentes tipos de pérdida auditiva en alta frecuencias (3, 4, 6 u 8 KHz) y según la fase de pérdida. A continuación, la tabla: Tabla 25.

Clasificación según el índice Larsen

Grado	Alteración
Normal	Pendiente en frecuencias de 3, 4 y 6 Khz que no supera 20 dB
Hipoacusia Neurosensorial Grado I	Pérdida del auditivo de 20 dB en una o más frecuencias altas (3, 4, 6, 8 Khz)
H.N Grado II	Pérdida del umbral mayor a 20 dB en una o más frecuencias altas sin comprometerse las frecuencias medias
H.N Grado III	Pérdida que se extiende a una o más frecuencias medias.
H.N Grado IV	Pérdida que se extiende a frecuencias graves.

Tomado de (Escuela Colombiana de Medicina, s.f)

3.2.3. Método S.A.L

Como se explicó en el marco teórico es otro método para valorar la capacidad auditiva en frecuencias conversacionales y será usado para visualizar en número de participantes según el grado de pérdida desde el A hasta el G (ver tabla 24).

Ejemplo de una audiometría hecha a un paciente, para el cálculo de ELI y SAL:

Tabla 26.

Niveles liminares de audición de un paciente de 45 años.

Niveles de HL		
Frecuencia (Hz)	HL Oído Derecho	HL Oído Izquierdo
500	15	15
1000	25	30
2000	70	70
3000	85	75
4000	85	78

Cálculo del ELI:

Corrección por Presbiacusia: 15 dB

$$O. D = 85 - 15 = 70 \text{ dB}, \text{ Grado ELI: E}$$

$$O. I = 78 - 15 = 63 \text{ dB}, \text{ Grado ELI: E}$$

Cálculo de SAL:

Pérdida promedio para cada oído:

$$O.D = \frac{15 + 25 + 70}{3} = 36,6 \text{ dB}$$

$$O.I = \frac{15 + 30 + 70}{3} = 38,3 \text{ dB}$$

Grado SAL: **C**

3.2.4. Método A.M.A

Por sus siglas "American Medical Association", es un método de valoración conversacional y a diferencia del método AAO, toma los niveles liminares de las mismas frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz, pero en lugar de 3000 Hz, usa la frecuencia de 4000 Hz, lo cual la hace un método con mayor uso debido a que 3000 Hz es una frecuencia de media octava usada en casos de exploración más profunda y que no todos los tipos de audiómetros posee.

El procedimiento es el siguiente:

- 1) Se toma el nivel liminar de las frecuencias anteriormente mencionadas y se les asigna un valor según la tabla de conversión A.M.A:

Tabla 27.

Tabla de conversión para el método AMA

	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
10 dBs.	0,2	0,3	0,4	0,1
15 dBs.	0,5	0,9	1,3	0,3
20 dBs.	1,1	2,1	2,9	0,9
25 dBs.	1,8	3,6	4,9	1,7
30 dBs.	2,6	5,4	7,3	2,7
35 dBs.	3,7	7,7	9,8	3,8
40 dBs.	4,9	10,2	12,9	5
45 dBs.	6,3	13	17,3	6,4
50 dBs.	7,9	15,7	22,4	8
55 dBs.	9,6	19	25,7	9,7
60 dBs.	11,3	21,5	28	11,2

65 dBs.	12,8	23,5	30,2	12,5
70 dBs.	13,8	25,5	32,2	13,5
75 dBs.	14,6	27,2	34	14,2
80 dBs.	14,8	28,8	35,8	14,6
85 dBs.	14,9	29,8	37,5	14,8
90 dBs.	15	29,9	39,2	14,9
95 dBs.	15	30	40	15

Tomado de (Asociación Médica Americana, s.f)

- 2) Para la obtención porcentual de pérdida auditiva en un solo oído: se adicionan los valores de porcentajes individuales que corresponden a cada tono.
- 3) Para la obtención porcentual de pérdida auditiva en ambos oídos: se multiplica el valor la pérdida auditiva transformada en porcentaje del mejor oído por 7 y la del peor por 1. Por último, se suman las pérdidas y se divide por 8.

Tabla 28.

Ejemplo de niveles liminares un paciente con hipoacusia moderada.

Niveles Liminares en Audiometría Tonal		
Frecuencia (Hz)	HL Oído Derecho	HL Oído Izquierdo
500	45	30
1000	50	35
2000	55	40
4000	60	45

Se calcula el porcentaje de pérdida para cada oído:

Pérdida Oído Derecho:

$$\% P. O. D = 6,3 + 15,7 + 25,7 + 11,2 = 58,9\%$$

Pérdida oído Izquierdo:

$$\% P. O. I = 2,6 + 7,7 + 12,9 + 6,4 = 29,6\%$$

Se calcula el porcentaje de pérdida global:

$$\% P. A. G = \frac{(\% \text{ Mejor oído} \times 7) + \% \text{ Peor oído}}{8}$$

Remplazando valores:

$$\% P. A. G = \frac{(29,6 \times 7) + 58,9}{8}$$

$$\% P. A. G = \frac{(207,2) + 58,9}{8}$$

$$\% P. A. G = \frac{266,1}{8}$$

$$\% P. A. G = 33,3\%$$

Como mayoritariamente la edad de la muestra es menor a 30 años se aplicará el método A.M.A y en personas mayores a esta edad se aplicará el método SAL, el cual tiene una corrección por Presbiacusia. Ambos métodos tendrán un objetivo de determinar el porcentaje de pérdida auditiva y el grado de pérdida auditiva respectivamente. Los dos métodos son de carácter social ya que aplica para frecuencias conversacionales.

Por otro lado, se usará el índice ELI para determinar el grado de hipoacusia profesional en 4000 Hz.

El cuestionario que se realizará a los pacientes, es una modificación a la que está presente en la normativa ISO 389-9 y con ella se tratará de realizar una correlación entre antecedentes y resultados.

3.3. Encuesta de antecedentes al participante

(Ver en Anexos)

3.4. Protocolo antes de las pruebas:

Para efectuar las pruebas audiométricas en más de los 100 pacientes, se requiere que el procedimiento cumpla con un protocolo específico de realización.

En primer lugar, tal como se especifica en la Norma UNE-EN 60645- 1 "Audiómetros. Parte 1: Audiómetros de tonos puros", el equipo debe cumplir lo

siguiente:

1. Debe estar calibrado conforme al cero de referencia estipulado en la normativa UNE-EN ISO 389, de acuerdo a las características que tiene. En esta sección se logró verificar que el audiómetro esta calibrado hasta el año 2019 y que no hay problema para usar el equipo y sus periféricos.
2. Se requiere la realización de verificación de cables, funcionamiento del equipo y una prueba por parte del técnico a cargo (mi persona) de que no haya ruido de interferencia en los audífonos.
3. Cada cierto tiempo, semanalmente, o cada 50 audiometrías, es necesaria una calibración subjetiva con un sujeto de prueba ontológicamente normal, con un umbral inferiores a 25 dB HL y del que se tenga pruebas audiométricas anteriores. Si el umbral entre las calibraciones es menor a 10 dB, se puede continuar usando el equipo. En este apartado se realizó la calibración subjetiva cada 40 audiometrías con un resultado óptimo.
4. Las deben ser realizadas de preferencia en una cabina audiométrica, que cumpla con los estándares mínimos de ruido de fondo según la norma 60645-1:2015, estipulada en la tabla 13. (En este apartado se midieron los niveles de ruido de fondo con el sonómetro CESVA).
5. El audífono deber ser colocado de manera correcta por el operario y explicarle al paciente que no puede tocar ni manipular los auriculares en ningún momento de la prueba.
6. Se explica al paciente como se va a realizar el procedimiento y que debe pulsar el botón cada vez que escuche el tono y dejarlo de presionar cuando ya no esté presente.
7. El orden de la presentación de los tonos (Comenzando por 1 KHz, subiendo hasta cubrir todas las frecuencias agudas y por último de la frecuencia más baja hasta repetir 1 KHz)
8. El oído al que se deberá poner a prueba primero y que los tonos son

enviados de manera independiente en cada oído y nunca simultáneamente o intermitentemente.

9. Se comienza por el mejor oído caso contrario por el oído derecho.
10. Se deben quitar las gafas, adornos en la cabeza, aretes que impidan la colocación de los auriculares y las prótesis de corrección auditiva, en el caso de que se tenga.
11. El paciente debe estar presente al menos 5 minutos antes del ensayo para evitar errores por esfuerzo físico, es por eso que se aprovechará este tiempo para dar la encuesta de antecedentes al participante.
12. Generalmente el ensayo audiométrico va precedido por un examen otoscópico, el cual es realizado por una persona cualificada como un médico otorrinolaringólogo, para determinar si existe cerumen obstruyendo el canal auditivo. Este paso no será realizado debido a que no se podrá contar con un médico para los ensayos, sin embargo, se hará una pregunta al paciente, para determinar hace que tiempo tuvo su último examen auditivo y si tenía cerumen acumulado.

3.5. Dimensiones del laboratorio de ensayos audiométricos

Las mediciones fueron llevadas tanto dentro del recinto del laboratorio de acústica LA1 de la UDLA, como dentro de la cabina ubicada en el interior del recinto (Ver el plano en antecedentes).

Dimensiones:

Laboratorio de ensayos: 4 m (L) x 2,53 (A), x 2,36 m (H)

Cabina Audiométrica: 1,10 m (L) x 1,10 m (A) x 2 m (H)

*La altura de la cabina desde el suelo es de 20 cm, por lo que tiene una altura efectiva de 1,80 metros.

3.6. Fases del Procedimiento ((ISO 8254-1:2011))

3.6.1. FASE 1, Protocolo de medición

- Según la normativa ISO 8253-1:2011, se comenzará con el oído que mejor audición crea que tenga el paciente. Se comenzará la prueba con un tono inicial de 1 KHz, debido a que en la mayoría de los casos este tono es que se percibe con igual sonoridad en las personas y de igual manera se posee una percepción idéntica al de una curva de Nivel de Presión Sonora sin corrección.
- Se presentará al paciente un ensayo corto de familiarización inicial, el cual consiste en enviar un tono perfectamente audible como 1000 Hz a 40 dB, si el sujeto da positivo, ir disminuyendo hasta que no haya respuesta y comenzar de inmediato la prueba.
- Al localizar el nivel liminar, se aplica el siguiente tono y así sucesivamente hasta concluir con todas las frecuencias del protocolo de la normativa. Se comienza por 1 KHz, posteriormente se aplican las frecuencias mayores hasta llegar a 8 KHz para después repetir las frecuencias de 1 KHz y finalmente enviar las frecuencias inferiores a la última mencionada en orden ascendente, es decir desde la más baja, o sea 125 Hz hasta 500 Hz o 750 Hz si es que se incluye esta última. Una vez terminado el proceso con el primer oído, seguir al siguiente.
- La duración del ensayo, dependerá de un paciente a otro, sin embargo, se recomienda no fatigar al paciente ya que los resultados pueden variar. Si se sobrepasan 20 minutos en la prueba, se aplicará un descanso al paciente.
- Se tendrá clara visión del paciente, pero este último no podrá ver los cambios de ajuste del audiómetro, ni el envío o interrupción del tono.
- El tono tiene una duración de 1 a 2 segundos como máximo.

3.6.2. FASE 2, Método de medición auditiva (ISO 389-9)

Después de haber explicado al paciente el protocolo a seguir en la fase de familiarización se comenzará a realizar la prueba audiométrica

- **Método de Hughson-Westlake**

Es el método de detección de nivel liminar para umbral auditivo absoluto, que se usará para los ensayos audiométricos, ya que combina los métodos de ascensión y encuadre, haciéndolo más eficaz (Stelmachowiz, 1989).

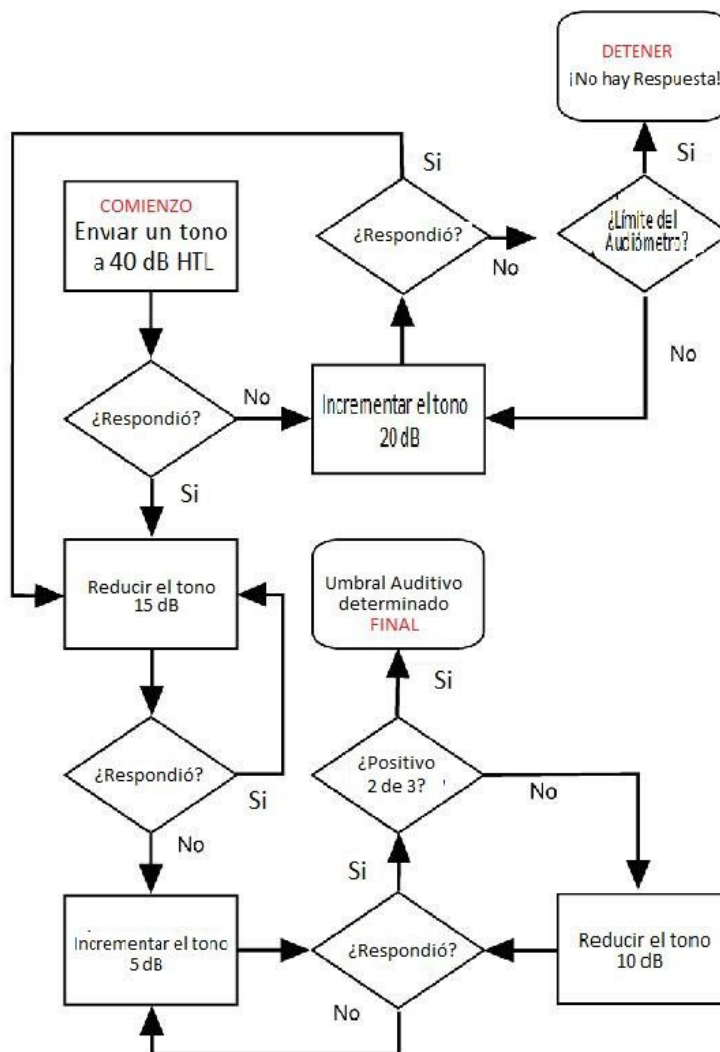


Figura 43. Diagrama de flujo de la prueba de Hughson-Westlake para la determinación del umbral auditivo absoluto. Adaptado de la norma ISO 389-8, s.f)

Por último, se preguntará al paciente si no tuvo una exposición a ruidos fuerte en las últimas 14 horas. De esta manera se podrá minimizar el desplazamiento temporal del umbral auditivo y tener una medición más exacta (Dean, 1981).

- **Método de Hood:** Es un método usado ampliamente para aplicar enmascaramiento a una señal en hipoacusias leves y moderadas ya que para hipoacusias severas el enmascaramiento no resulta ser efectivo.

El proceso que se usará el siguiente:

- 1) Cuando se confirme en una frecuencia que la diferencia es mayor que la atenuación Interaural, se decide a aplicar enmascaramiento, por ejemplo, si hay un A.I de 40 dB HL.
- 2) Se comienza aplicando enmascaramiento en el oído no explorado a 10 dB sobre el umbral auditivo detectado, obteniendo el primer incremento
- 3) Se estimula el oído explorado con el mismo nivel de intensidad que el sonido con enmascaramiento. En el caso de que el umbral se mantenga, se aumenta el ruido enmascarante en 10 dB nuevamente, obteniendo el segundo incremento
- 4) Se estimula de nuevo el oído explorado a la intensidad con el nivel de i original con el ruido enmascarado en el oído no explorado. En el caso de que se mantenga el umbral, se procede a incrementar nuevamente el ruido enmascarante 10 dB más, llegando al tercer incremento total de 30 dB (Oído no explorado + 10 dB + 10 dB + 10 dB).
- 5) Se estimula otra vez el oído explorado a la intensidad con el nivel de i original con el ruido enmascarado en el oído no explorado. En el caso de que el umbral se mantenga, será ese el nivel definitivo liminar del umbral auditivo del paciente.

En caso de que, en uno de los dos primeros intentos, el umbral se modifica, se ejecuta el mismo procedimiento, pero con aumentos de 5 dB (Marco, s.f).

Este método únicamente se aplicará si el participante posee una Hipoacusia unilateral leve o moderada en cualquiera de uno de los dos oídos.

3.8. Análisis de datos

Se usarán conceptos estadísticos como varianza, distribución normal, desviación estándar, regresión lineal, medias y percentiles. Así como métodos de ANOVA (Análisis de Varianza) y PRUEBA T para la comparación de diferentes promedios y la obtención de intervalos de confianza para la obtención de las barras de error para cada resultado, así como el nivel de significancia, descartando falsos positivos y productos del azar. Siempre y cuando se cumplan valores menores al 5%, con niveles de confianza del 95%, se demostrará que existen diferencias significativas en la mayor parte de las muestras, rechazando la hipótesis nula (las diferencias entre medias grupales son iguales), y obteniendo un valor P correspondiente a la significación estadística basada en los grados de libertad (el número de valores que puede poseer una muestra).

3.8.1. Estadística de prueba Z (Distribución Normal) o t (t Student)

Para muestras mayores o iguales a 30:

$$Z = \frac{\bar{X} - u}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}} \quad \text{Ecuación 10}$$

\bar{X} = Promedio parcial (de la muestra)

σ = Desviación poblacional total

u = valor de la hipótesis

n = Número de datos

Para muestras menores a 30

$$t = \frac{\bar{X} - u}{\sqrt{\frac{S^2}{n}}} \quad \text{Ecuación 11}$$

\bar{X} = Promedio parcial (de la muestra)

S = Desviación poblacional total

u = valor de la hipótesis

n = Número de datos

3.9. Corrección por calibración

Una vez procesados los resultados de las mediciones audiométricas para cada frecuencia, será necesario aplicar una corrección en los niveles, debido a que el audiómetro está calibrado para los audífonos TDH39, sin embargo, los que fueron empleados para las pruebas, son los audífonos audiométricos DD45.

Por lo tanto, existe una diferencia que hay que corregir para que los valores resultantes estén ajustados a la calibración real. La diferencia viene dada por la siguiente tabla, tomada de la normativa ISO 389-1.

Tabla 29.

Valores de cero referencias para calibración de los audífonos TDH39 y DD45.

Frecuencia	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
Telefonía TDH-39	45,00	25	12,50	7,00	6,50	9,00	10,00	9,50	15,00	13,00
Telefonía DD45	47,5	27,00	13,00	6,50	8,00	8,00	8,00	9,00	21,50	12,00
Corrección dB HL	-2,50	-2,00	-0,50	0,50	-1,50	1,00	2,00	0,50	-6,50	1,00

Tomado de (Normativa ISO 389-1, s.f)

La tabla anterior muestra la diferencia que existe entre los 2 modelos de audífonos para las frecuencias audiométricas soportadas. La principal diferencia se encuentra localizada en la frecuencia de 6000 Hz,

Las frecuencias de 1500 y 3000 Hz, no serán tomadas en cuenta ya que únicamente se tomarán frecuencias de bandas de octava, exceptuando 6000 Hz que si se la considerará debido a que es una frecuencia que registra importantes pérdidas auditivas en estudios anteriores, sobre todo en músicos. En conclusión, las frecuencias a corregir serán las siguientes:

Tabla 30.

Valores de corrección aplicados en la presenta investigación.

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000	6000	8000
Corrección dB HL	-2,5	-2,0	-0,5	-0,5	1,0	0,5	-6,5	1,0

En orden de mayor a menor corrección, las frecuencias serían 6000 con 6.5 dB, 250 y 125 con 2,5 y 2 dB respectivamente. Mientras que las otras frecuencias se mantienen prácticamente intactas con una corrección de 1 dB HL o menos.

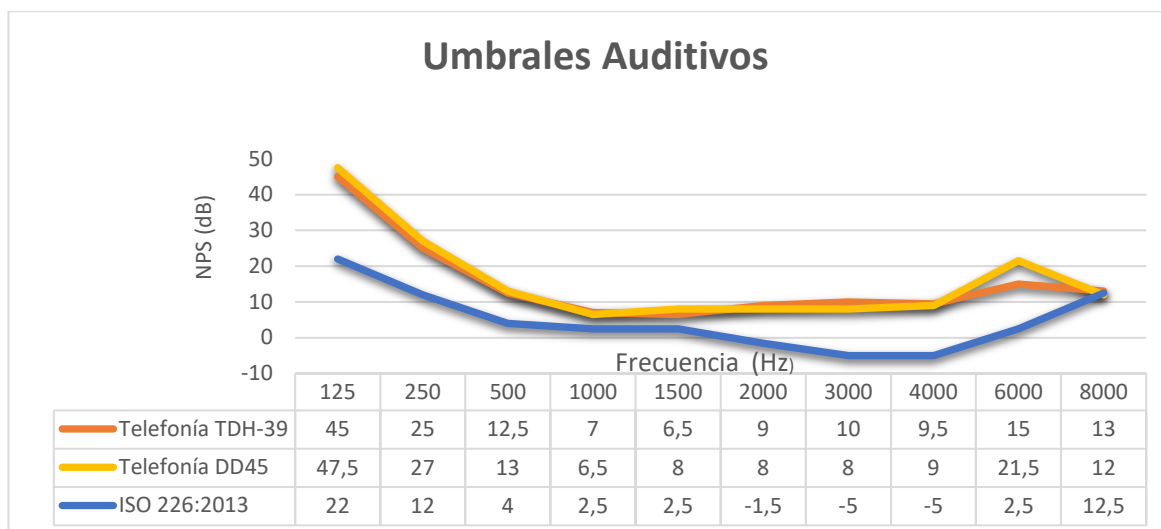


Figura 44. Umbral auditivo absoluto según la norma ISO 226 y los niveles de calibración según los audífonos TDH 39 y DD45.

4. RESULTADOS

4.1. Ruido de fondo

4.1.1. Ruido de fondo del laboratorio de acústica (LA1)

Tabla 31.

Análisis de valoración de ruido de fondo de la normativa ISO 8253-1

f (HZ)	(dB)	125 a 8000 Hz		250 a 8000 Hz		500 a 8000 Hz	
		Diferencia	CUMPLE?	Diferencia	¿CUMPLE?	Diferencia	CUMPLE?
31,5	45,1	10,9	CUMPLE	0,0	CUMPLE	0,0	CUMPLE
40	52,1	-0,1	NO CUMPLE	9,9	CUMPLE	20,9	CUMPLE
50	46,7	0,3	CUMPLE	10,3	CUMPLE	21,3	CUMPLE
63	45,1	-3,1	NO CUMPLE	6,9	CUMPLE	18,9	CUMPLE
80	39,9	-1,9	NO CUMPLE	8,1	CUMPLE	19,1	CUMPLE
100	33,3	-0,3	NO CUMPLE	9,7	CUMPLE	21,7	CUMPLE
125	28,0	0,0	CUMPLE	11,0	CUMPLE	23,0	CUMPLE
160	27,7	-4,7	NO CUMPLE	2,3	CUMPLE	19,3	CUMPLE
200	24,8	-4,8	NO CUMPLE	-4,8	NO CUMPLE	17,2	CUMPLE
250	24,7	-5,7	NO CUMPLE	-5,7	NO CUMPLE	12,3	CUMPLE
315	26,1	-8,1	NO CUMPLE	-8,1	NO CUMPLE	6,9	CUMPLE
400	24,7	-6,7	NO CUMPLE	-6,7	NO CUMPLE	-0,7	NO

500	18,3	-0,3	NO CUMPLE	-0,3	NO CUMPLE	-0,3	CUMPLE NO CUMPLE
630	14,5	3,5	CUMPLE	3,5	CUMPLE	3,5	CUMPLE
800	12,9	7,1	CUMPLE	7,1	CUMPLE	7,1	CUMPLE
1000	11,8	11,2	CUMPLE	11,2	CUMPLE	11,2	CUMPLE
1250	14,3	10,7	CUMPLE	10,7	CUMPLE	10,7	CUMPLE
1600	13,6	13,4	CUMPLE	13,4	CUMPLE	13,4	CUMPLE
2000	13,2	16,8	CUMPLE	16,8	CUMPLE	16,8	CUMPLE
2500	13,0	19,0	CUMPLE	19,0	CUMPLE	19,0	CUMPLE
3150	12,0	22,0	CUMPLE	22,0	CUMPLE	22,0	CUMPLE
4000	12,7	23,3	CUMPLE	23,3	CUMPLE	23,3	CUMPLE
5000	12,3	22,7	CUMPLE	22,7	CUMPLE	22,7	CUMPLE
6300	12,2	21,8	CUMPLE	21,8	CUMPLE	21,8	CUMPLE
8000	13,5	19,5	CUMPLE	19,5	CUMPLE	19,5	CUMPLE

En la siguiente tabla se muestra los niveles promedios medidos de varios puntos del laboratorio de acústica y comparándolos con los niveles máximos permitidos por frecuencia y por conducción aérea según la normativa ISO 8253-1:2010.

Los valores en color verde representan el cumplimiento de la norma para la frecuencia mostrada. En cuanto a los colores amarillo y rojo, estos representan incumplimiento ante la norma, teniendo los de color amarillo una diferencia menor a 1 dB, mientras que los otros, poseen una diferencia mayor a 1 dB.

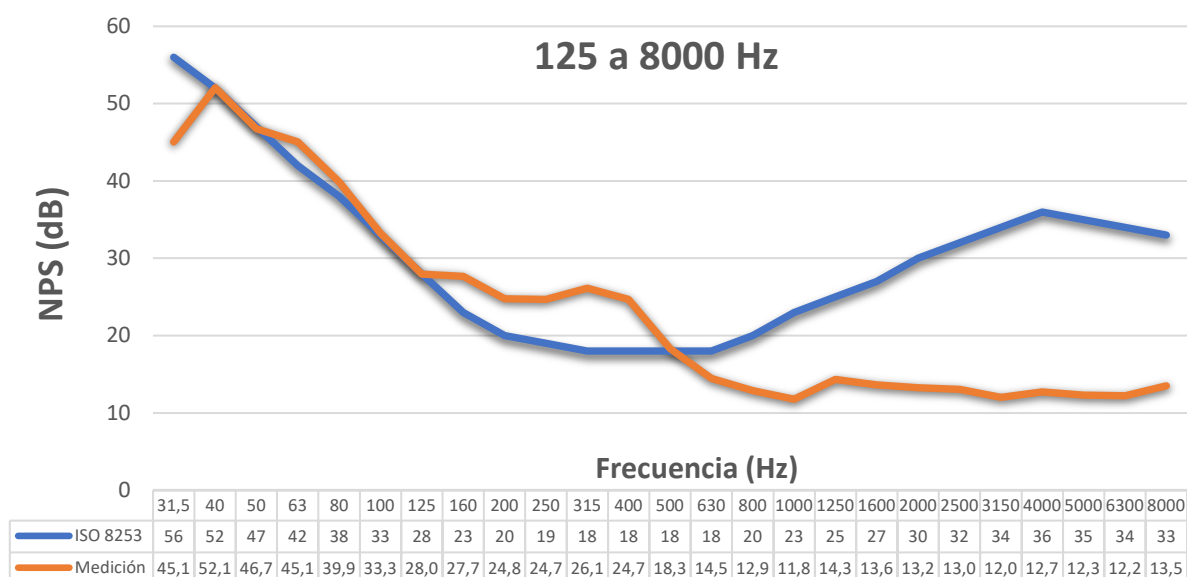


Figura 45. Comparativa del nivel de ruido de fondo requerido según la normativa ISO 8253 para 125 a 8000 Hz y el medido en el laboratorio de acústica.

Para audiometrías de 125 a 8000 Hz el nivel de ruido de fondo medido, sobrepasa

la normativa ISO 8253 en varias frecuencias (63 a 500 Hz), por lo que no es apto el lugar para los ensayos de audición para dicho rango.

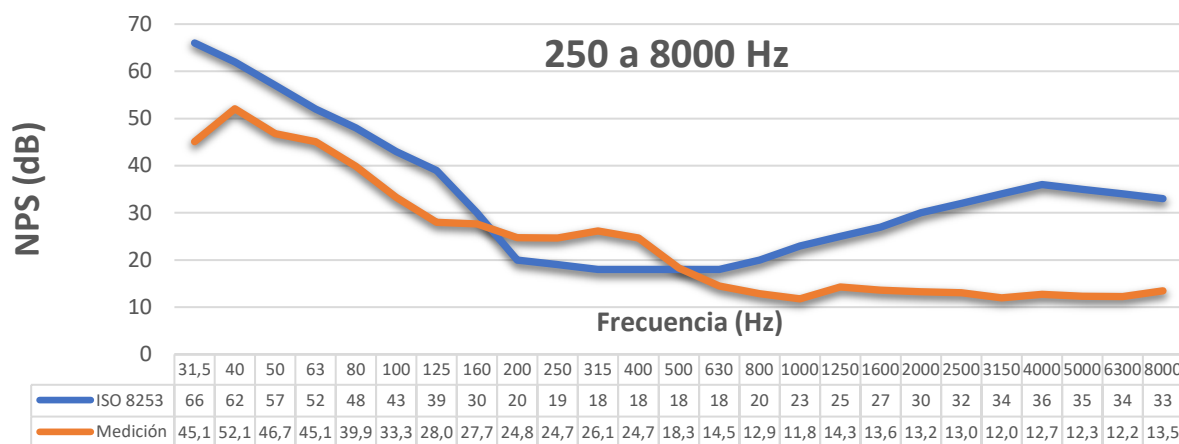


Figura 46. Comparativa del nivel de ruido de fondo requerido según la normativa ISO 8253 para 250 a 8000 Hz y el medido en el laboratorio de acústica.

Para audiometrías de 250 a 8000 Hz, el nivel de ruido de fondo medido, sobrepasa al de la normativa ISO 8253 en varias frecuencias (200 a 500 Hz), por lo que no es apto el lugar para los ensayos de audición para dicho rango.

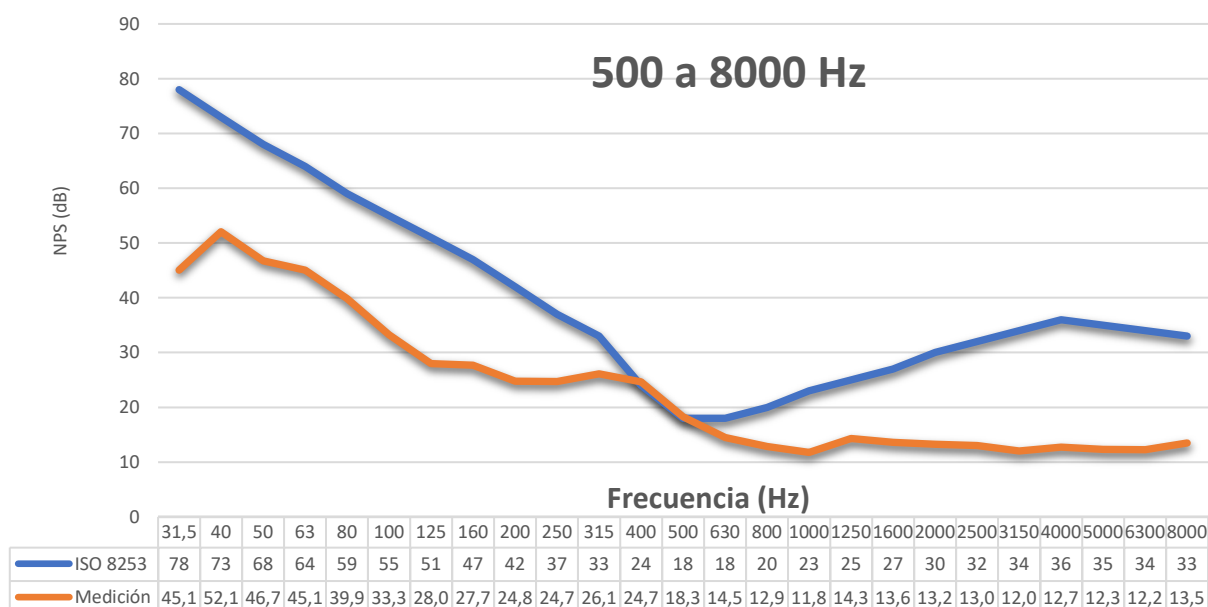


Figura 47. Comparativa del nivel de ruido de fondo requerido según la normativa ISO 8253 para 500 a 8000 Hz y el medido en el laboratorio de acústica.

Para audiometrías de 500 a 8000 Hz, el nivel de ruido de fondo medido, no sobrepasa al de la normativa ISO 8253 a excepción de las frecuencias de 400 y 500 Hz, donde la

diferencia es mínima y menor a 1 dB, por lo que el lugar sería apto para realizar las audiometrías en un rango de 500 a 8000 Hz, pero no en rangos más amplios.

4.1.2. Ruido de fondo de la cabina insonorizada

En la siguiente tabla se muestra los niveles promedios medidos dentro de la cámara insonorizada y comparándolos con los niveles máximos permitidos por frecuencia y por conducción aérea según la normativa ISO 8253-1:2010.

Tabla 32.

Análisis de valoración de ruido de fondo de la normativa ISO 8253-1

125 a 8000 Hz			
f (HZ)	Promedio NPS	Diferencia	¿CUMPLE?
31,5	51,6	4,4	CUMPLE
40	49,9	2,1	CUMPLE
50	42,9	4,1	CUMPLE
63	38,3	3,7	CUMPLE
80	39,3	-1,3	NO CUMPLE
100	33,0	0,0	CUMPLE
125	23,9	4,1	CUMPLE
160	17,6	5,4	CUMPLE
200	10,3	9,7	CUMPLE
250	18,1	0,9	CUMPLE
315	6,6	11,4	CUMPLE
400	4,9	13,1	CUMPLE
500	6,1	11,9	CUMPLE
630	10,1	7,9	CUMPLE
800	9,7	10,3	CUMPLE
1000	7,0	16,0	CUMPLE
1250	11,7	13,3	CUMPLE
1600	9,7	17,3	CUMPLE
2000	11,4	18,6	CUMPLE
2500	10,0	22,0	CUMPLE
3150	9,4	24,6	CUMPLE
4000	9,8	26,2	CUMPLE
5000	10,3	24,7	CUMPLE
6300	10,6	23,4	CUMPLE
8000	10,3	22,7	CUMPLE

Los valores en color verde representan el cumplimiento de la norma para la frecuencia mostrada. En cuanto a los colores amarillo y rojo, estos representan

incumplimiento ante la norma, teniendo los de color amarillo una diferencia menor a 1 dB, mientras que los otros, poseen una diferencia mayor a 1 dB.

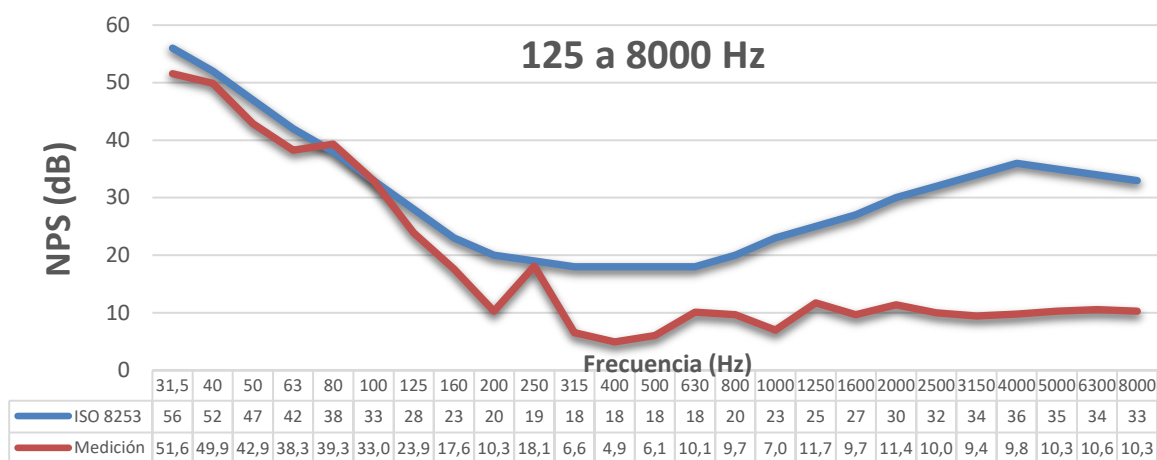


Figura 47. Comparativa del nivel de ruido de fondo requerido según la normativa ISO 8253 para 125 a 8000 Hz y el medido en la cabina insonorizada ubicada dentro del laboratorio de acústica.

Se cumple con la normativa en todas las frecuencias a excepción de 80 Hz, en donde sobrepasa el límite por poco más de un decibel, lo cual es una cantidad despreciable, por lo tanto, la cabina si es apta para mediciones audiométricas de 125 a 8000 Hz y obviamente en audiometrías de 250 y 500 Hz a 8000 Hz, respectivamente, ya que requieren menor ruido de fondo para su aplicación.

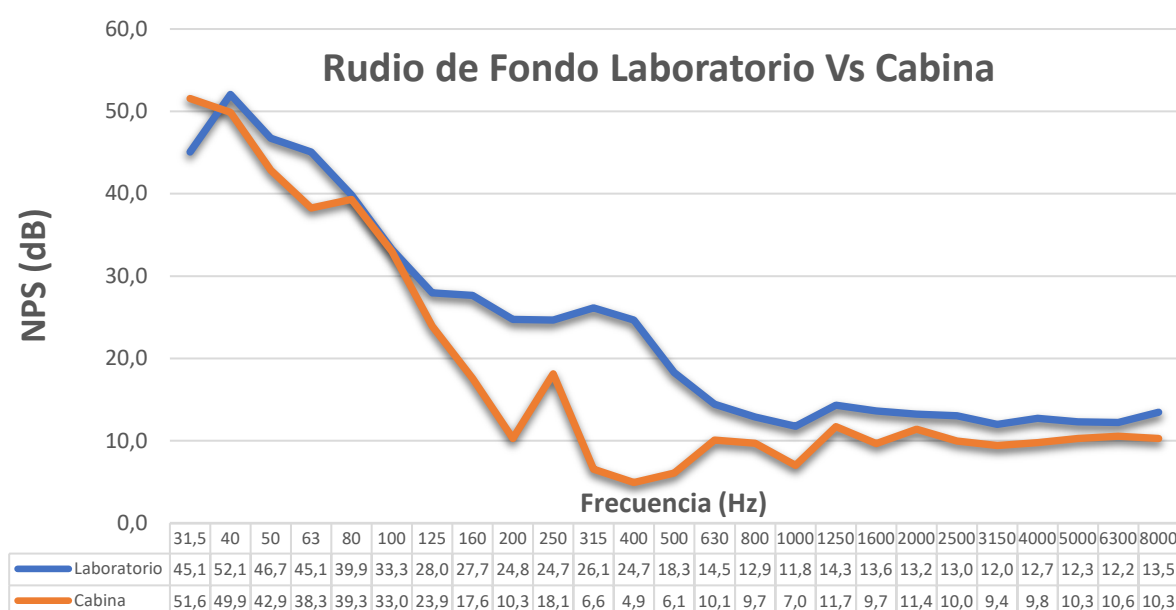


Figura 48. Comparativa del nivel de ruido de fondo tomado en la cabina insonorizada y del laboratorio.

La cabina audiométrica ubicada dentro del laboratorio LA1, mejora la acústica considerablemente en comparación con las mediciones realizadas fuera de ella. La diferencia es mayor en frecuencias medias sobre todo desde 125 a 800 Hz.

4.2. Estadística de la muestra

4.2.1. Muestra total

Se hizo un total de 148 audiometrías a participantes músicos, y un total de 18 mediciones a participantes no músicos.

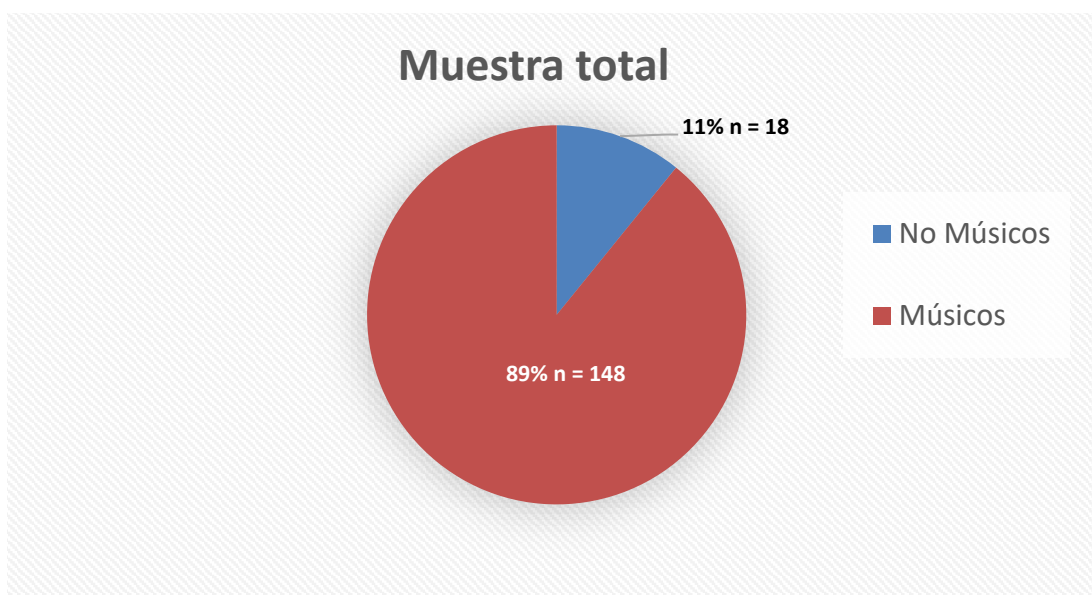


Figura 49. Muestra total de audiometrías a músicos en comparación a no músicos.

Con el resultado obtenido, se concluye que la muestra a músicos obtenida, es inferior a la muestra requerida de 150 músicos en un principio, por lo que el margen de error resultante es del 5,1%, aumentando del valor original de 5% en solamente 0,1%. Reemplazando en la ecuación 9, se obtiene el valor de 0,05098.

$$e = \sqrt{\frac{1,96^2 \times 0,5^2 \times (246 - 148)}{150 \times (246 - 1)}}$$

Por otro lado, se realizará la comparación con el grupo de no músicos ($n = 18$), así como con el umbral auditivo promedio de una población ontológicamente normal de pacientes no músicos y sin exposición laboral de la normativa ISO 7029 e ISO 1999.

4.2.2. Edad

La edad es un factor importante, ya que, a partir de los 30 años, se debe aplicar una cifra de corrección al umbral auditivo obtenido en la audiometría (corrección por presbiacusia).



Figura 50. Porcentaje de pacientes de la muestra total, según la edad

El 90% de la muestra total, corresponde a pacientes menores a 30 años, por lo que no será necesario aplicar un índice de corrección por presbiacusia. Los pacientes mayores a 40 años son mínimos, por lo que no se tiene una cifra lo suficientemente alta para realizar la comparación con el resto de músicos. Por lo tanto, no serán tomados en cuenta para un análisis de umbrales auditivos según la edad, pero si en el análisis global.

4.2.3. Músicos según el instrumento

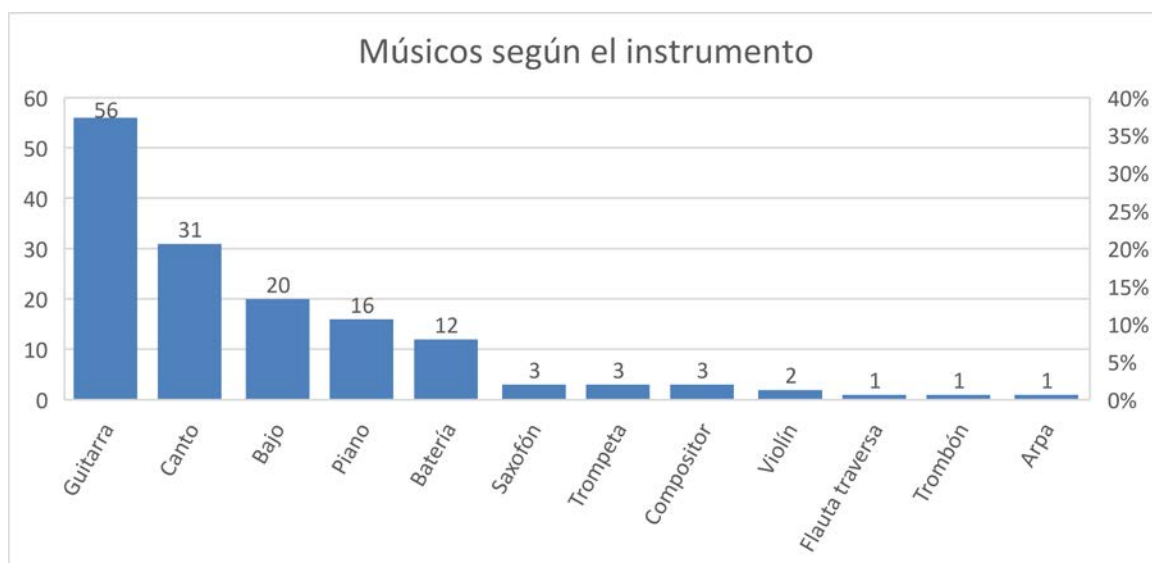


Figura 51. Porcentaje de muestras según el instrumento de interpretación, el eje y derecho indica el porcentaje de músicos para cada instrumento, mientras que en el lado izquierdo se indica el número entero.

Existe un número mayor de guitarristas, seguido de cantantes, bajistas, pianistas y bateristas. Los instrumentos iguales o menores a 3 muestras, únicamente serán tomados en cuenta para el análisis global de pérdida auditiva, por lo que serán eliminados para comparaciones entre instrumentos.

4.2.4. Género Musical

El nivel del espectro medio (LTAS), varía de acuerdo al género musical y se podría determinar una diferencia de umbrales a través de este parámetro.

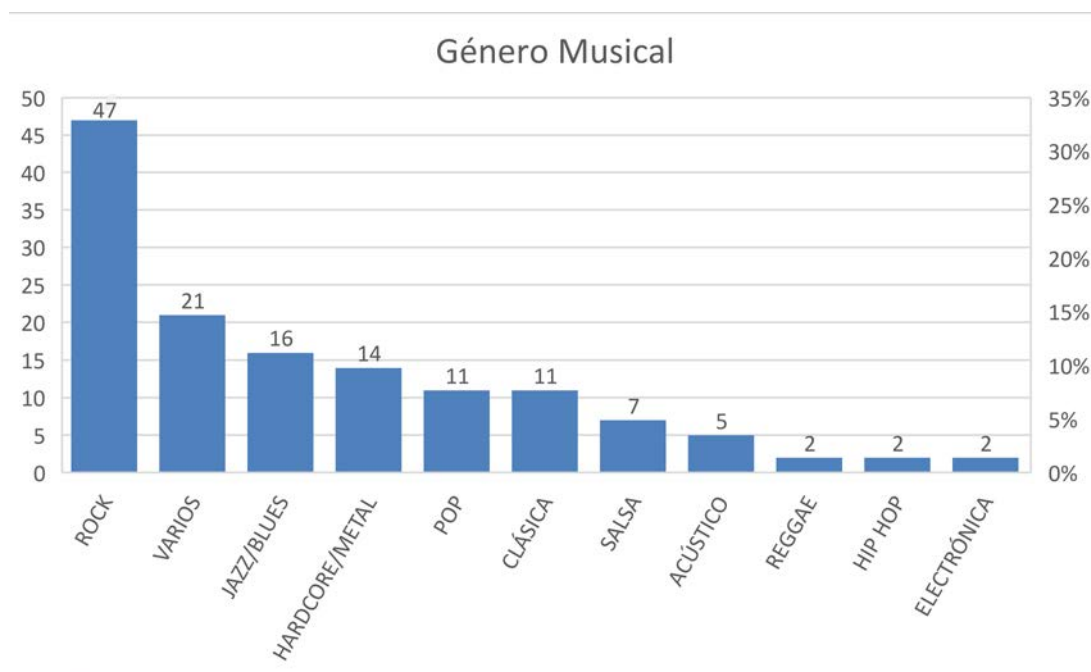


Figura 52. Porcentaje de individuos, según el género musical de interpretación, el eje y derecho indica el porcentaje de músicos para cada instrumento, mientras que en el lado izquierdo se indica el número entero.

El resultado indica que la tercera parte de la población encuestada, toca rock o estilos musicales derivados de este. En segundo lugar, los intérpretes tocan varios géneros musicales, seguida en tercer lugar por el Jazz y el Blues, seguida en cuarto lugar por géneros musicales extremos como el metal y/o hardcore, después la música clásica y el pop (ambos con 8%) y con el 5% la salsa. Los otros géneros musicales poseen una muestra muy baja por lo que no entrarán en el análisis de umbrales auditivos, al igual que el porcentaje de “varios” debido a que, a pesar de tener una muestra considerable, el umbral auditivo puede variar considerablemente entre los géneros musicales que se interpretan dentro de lo que engloba el término “varios”.

4.2.5. Sexo

Según la normativa ISO 7029, existe una ligera diferencia en el umbral de audición entre el sexo femenino y el masculino, por lo que también se hará una diferencia entre el promedio del umbral entre músicos hombres y músicos mujeres.

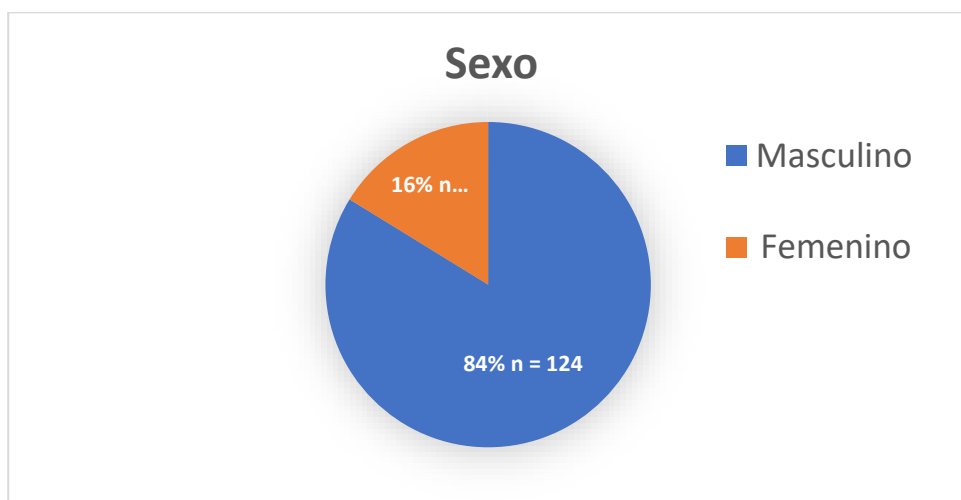


Figura 53. Muestra estadística entre hombres y mujeres.

4.2.6. Antecedentes Auditivos

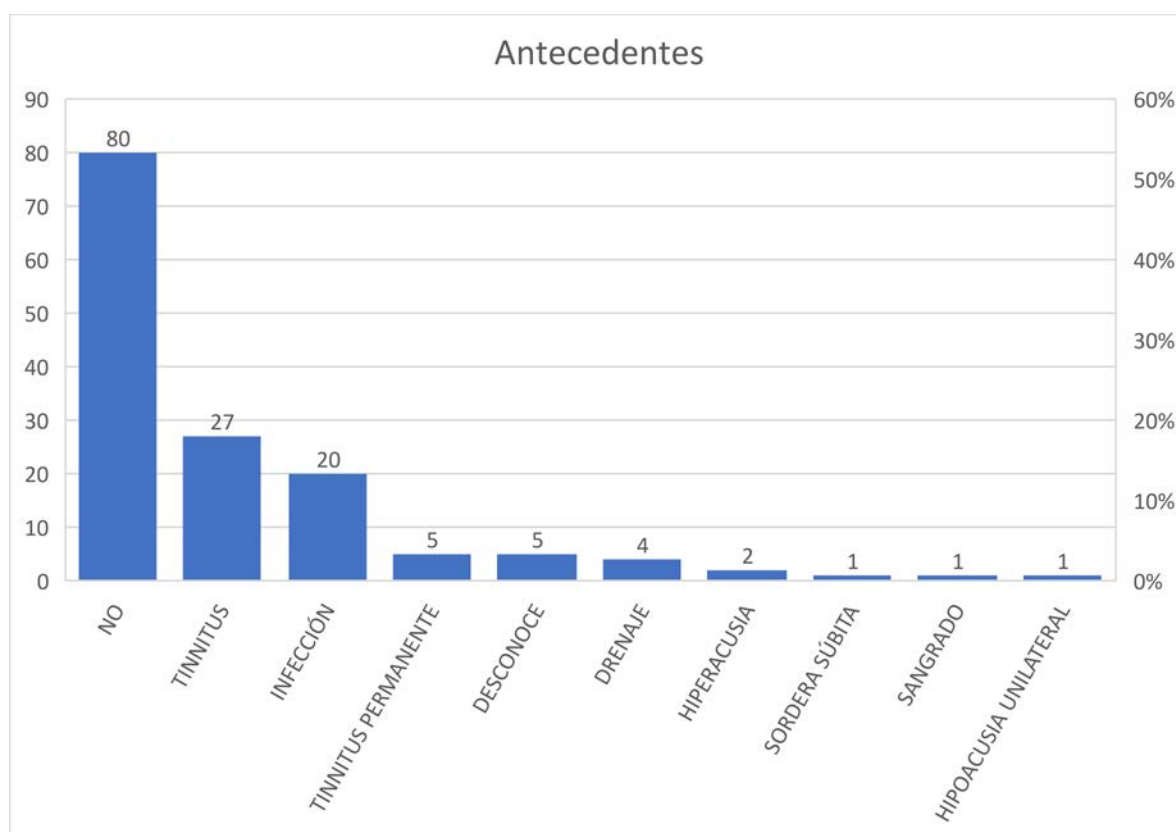


Figura 54. Histograma indicando el número de pacientes según el antecedente.

El gráfico anterior evidencia que existe un número significativo de pacientes con antecedentes. Entre ellos se encuentra principalmente la tinnitus en 24 músicos, quienes la padecen de una manera recurrente y sobre todo después de las presentaciones. En segundo lugar, 20 pacientes han padecido de infecciones anteriores, como la Otitis principalmente, pero no la tienen actualmente. Y en menor

porcentaje, se tienen a pacientes con tinnitus permanente (5), drenaje, hiperacusia (2) y sordera súbita (la padece actualmente), sangrado por trauma acústico (antecedente) e hipoacusia unilateral (la padece actualmente) con 1 padecimiento por paciente.

Se hará una comparación del umbral auditivo entre pacientes con antecedentes y pacientes si antecedentes de problemas auditivos.

4.2.7. Operación del oído

Tabla 33.

Número de participantes que han tenido una operación del oído

OPERACIÓN EN EL OÍDO	
OPERACIÓN OTITIS	1
RECONSTRUCCIÓN DE HUESECILLOS	1
DRENAJE DEL TÍMPANO	1
NO	143
DESCONOCE	2

De la tabla únicamente 3 pacientes han tenido una operación en el oído, por lo que se descartará la comparación de umbrales auditivo tomando en cuenta dicha variable.

4.2.8. Medicamentos Ototóxicos

Tabla 34.

Participantes que han ingerido medicamentos ototóxicos

MEDICAMENTO OTOTÓXICO	
NO	143
DESCONOCE	5

La tabla evidencia que ninguno de los pacientes ha ingerido medicamentos que afecten su audición o en su defecto desconocen si lo han hecho, por lo que se analizará la muestra con total normalidad.

4.2.9. Antecedentes Familiares

Tabla 35.

Participantes con antecedentes familiares de afección auditiva

Antecedentes Familiares	
NO	86
DESCONOCE	47
SI	14

Únicamente 14 pacientes, es decir alrededor del 10% confirmaron un antecedente familiar de alguna afección auditiva, por lo que se analizará este pequeño porcentaje. El resto confirmó que no tenía o desconocía.

4.2.10. Exposición al ruido

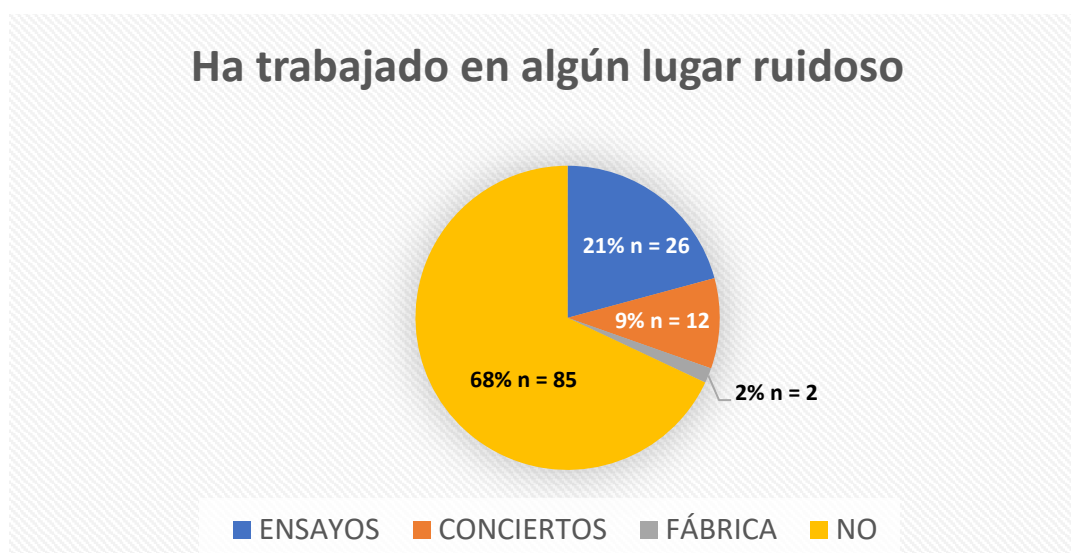


Figura 55. Porcentaje de pacientes que confirman que han trabajado en algún lugar ruidoso.

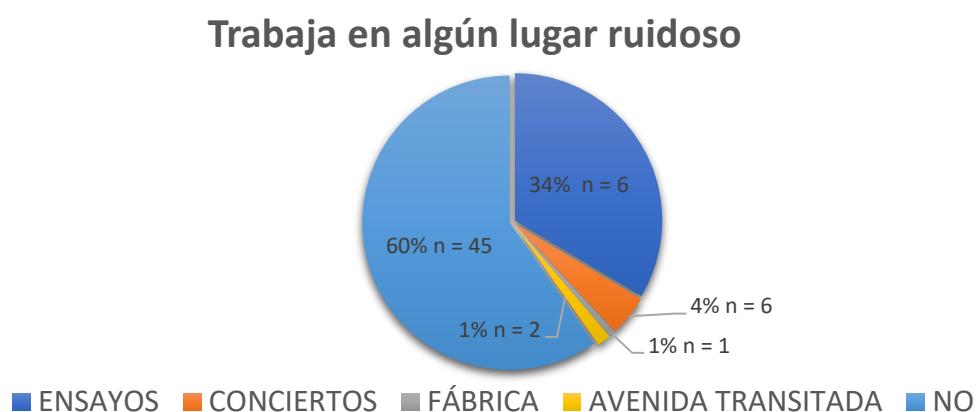


Figura 56. Pacientes que confirman o consideran que están trabajando en algún lugar ruidoso actualmente, según el porcentaje.

Ambas gráficas, muestran el número y porcentaje de pacientes que confirman que han estado expuestos al ruido o lo están en actualmente. Este resultado es subjetivo ya que todos los músicos están expuestos a ensayos y conciertos, sin embargo, no todos lo consideran como algo molesto. Por otro lado, un pequeño porcentaje de alrededor del 2%, afirma estar expuesto al ruido industrial y al ruido automovilístico.

4.2.11. Exposición a conciertos/discotecas

Tabla 36.

Análisis estadístico de la asistencia de músicos a conciertos.

Número de conciertos por año			
Media	23,97	NO:	32
Desviación estándar	28,37	Mínimo:	2
Mediana (Percentil 50)	15	Máximo:	222
Percentil 90	48		
Percentil 10	5		

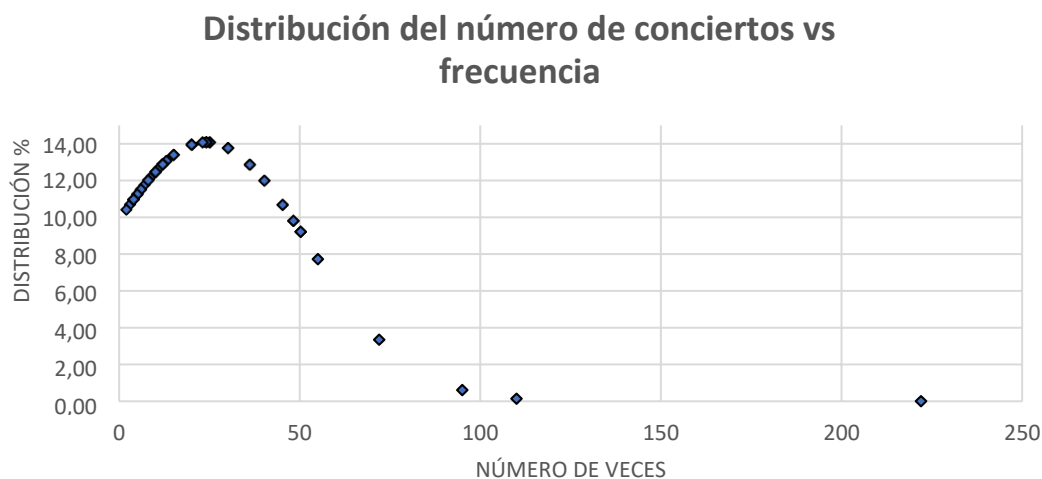


Figura 57. Distribución del número de conciertos, según el número de asistencias por año.

El resultado muestra que en promedio la población encuestada, acude a conciertos unas 25 veces. El gráfico muestra la distribución normal o campana de Gauss, según

el número de asistencias, siendo los puntos más elevados en el eje y, los resultados con mayor margen de asistencia. Del total de 148 músicos encuestados, 32 afirman no asistir a conciertos o discotecas. Por otro lado, el percentil 90, muestra que más del 90% de la población acude a al menos 48 conciertos al año, mientras que el 10%, únicamente posee una asistencia de 5 o menos veces por año.

4.2.12. Exposición a equipos reproductores de música personales

Tabla 37.

Análisis estadístico del número de h/semana que escuchan los músicos en reproductores portátiles.

Reproducción música portátil (h/semana)			
Media	4,34	NO:	12
Desviación estándar	0,59	Mínimo:	1
Mediana (Percentil 50)	11		
Percentil 90	28		
Percentil 10	3		

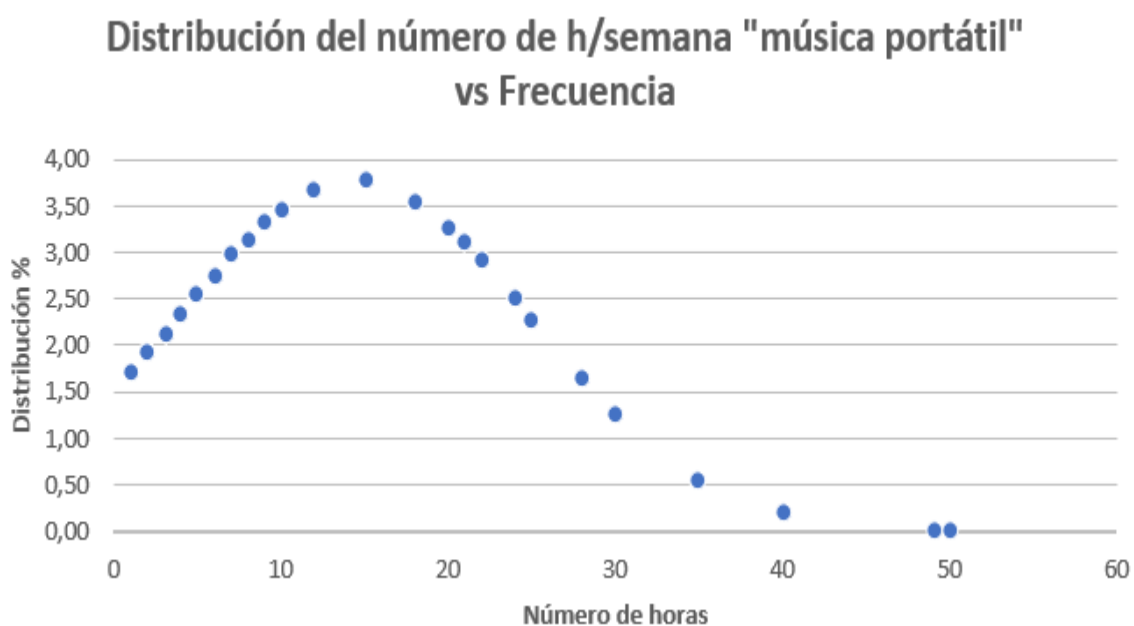


Figura 58. Distribución normal del número de horas en una semana en dispositivos de música personales.

El resultado muestra que en promedio la población encuestada, escucha en promedio a través de dispositivos de música personales, 14 horas semanales. El gráfico muestra la distribución según el número de horas, siendo los puntos más

elevados, los resultados con mayor margen de horas promedio.

Del total de 148 músicos encuestados, 12 afirman no escuchar a través de estos equipos, mientras que el percentil 90, indica que el 90% de la muestra escucha 28 horas o más, mientras que solamente el 10% escucha 3 horas o menos.

4.2.13. Horas y años de práctica

El factor que se tomará en cuenta directamente para la comparación de umbrales auditivos entre músicos de distintos instrumentos, será el número de horas de interpretación por semana en conjunto con los años de práctica. Se calculará además un factor que combine ambas variables para analizar el umbral auditivo según el tiempo de interpretación y se lo ajustará a 8 horas laborales por semana por año, para hacer una comparación en base a la normativa ISO 1999, la cual muestra valores estadísticos de umbrales auditivos por jornadas laborales de 8 horas.

Horas de práctica:

Tabla 38.

Análisis estadístico del número de horas de práctica por semana

Horas de práctica por semana			
Media	14,32	TOTAL	138
Desviación estándar	12,16	Mínimo:	1
Mediana (Percentil 50)	10	Máximo:	70
Percentil 90	30		
Percentil 10	3,5		

4.2.14. Uso de protección Auditiva

El siguiente gráfico indica el número de pacientes que usan de manera recurrente, protección auditiva:



Figura 63. Porcentaje de pacientes que usan protección auditiva de manera recurrente.

El resultado indica que existe un 43% de pacientes que usan protección auditiva, mientras que el 57% no lo hace. Se realizará una comparación entre ambas partes.

4.2.15. Preguntas subjetivas a los pacientes

¿Cree que su capacidad auditiva se ha visto afectada a través de los años?

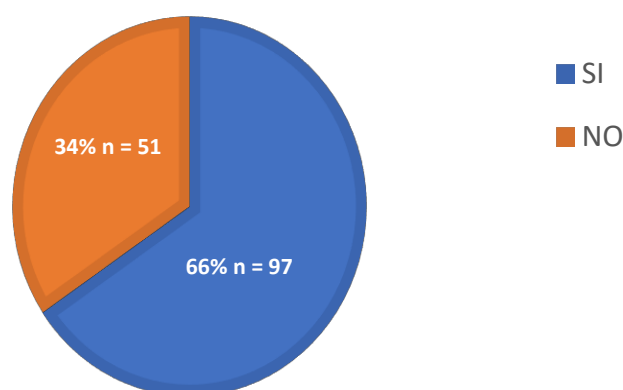


Figura 64. Porcentaje de pacientes que cree que su audición se ha visto afectada. Las 2/3 partes indican que su audición se ha visto afectada a través del tiempo.

¿Estaría dispuesto a usar protección auditiva?

Tabla 41.

Número de pacientes con respuesta a la pregunta sobre usar protección auditiva.

SI	145
NO	3

Casi la totalidad de los encuestados (98%), está dispuesto a proteger su sistema auditivo, lo cual indica que si hay una conciencia en músicos sobre el tema de pérdida auditiva.

*Ninguna de las preguntas subjetivas, será incluida en el apartado de umbrales auditivos.

4.3. Análisis de resultados audiométricos según el tipo de método

4.3.1. Clasificación SAL

Tabla 42.

Clasificación SAL

Clasificación SAL	
<16	144 Buena
16 - 30	4 Normal
61 - 90	1 Hipoacusia Severa

El resultado indica que más del 95% de los participantes posee una buena audición, según la clasificación SAL para frecuencia conversacionales, por lo que no poseen ningún inconveniente al momento de comunicarse.

4.3.2. TEST A.M.A

Con este test se podrá determinar si los músicos participantes, tienen una discapacidad en frecuencias conversacionales y el porcentaje de pérdida auditiva, tanto de manera unilateral como bilateral, desde 500 a 2000 Hz. Cabe mencionar que este test no toma en cuenta las frecuencias agudas ni las graves, sino solamente las más importantes, es decir donde se encuentran la mayor parte de la información del lenguaje humano.

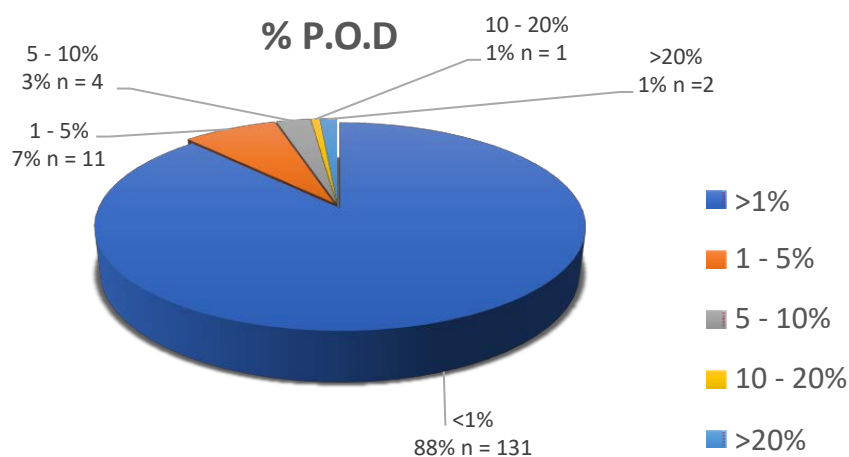


Figura 65. Número de pacientes según el porcentaje de pérdida auditiva en el oído derecho

Tabla 43.

Análisis estadístico del test de A.M.A para O.D.

Media %:	1,2
----------	-----

Max %:	86,0
Desviación Estándar:	7,3

El resultado indica que el 88% de todos los pacientes goza de una excelente audición en frecuencias conversacionales en el oído derecho, mientras que el 7% posee una buena audición, el 3% una hipoacusia leve y sólo el 2% sufre de hipoacusia de moderada a severa. La media es de solamente el 1,2% de pérdida auditiva en todos los músicos.

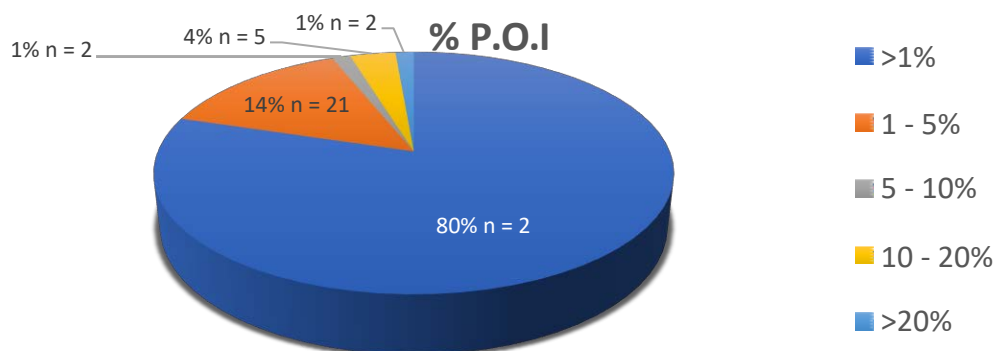


Figura 66. Número de pacientes según el % de pérdida auditiva en el O.I.

Tabla 44.

Análisis estadístico del test de A.M.A para O.I.

Media %:	1,6
Max %:	85,5
Desviación Estándar:	7,5

El resultado indica que el 80% de todos los pacientes goza de una excelente audición en frecuencias conversacionales también en el oído izquierdo, mientras que el 14% posee una buena audición, el 1% de hipoacusia leve y sólo el 5% sufre de hipoacusia moderada a severa.

El resultado global indica que el oído derecho es ligeramente mejor al izquierdo, ya que existen 12 pacientes de diferencia y con excelente audición entre ambos oídos, mientras que el 4% sufre de hipoacusia moderada en el oído izquierdo en comparación al 1% del derecho.

Tabla 45.

Porcentaje de pérdida global

% P.A.G	
<1%	117

1 - 5%	21
5 - 10%	3
10 - 20%	5
>20%	2

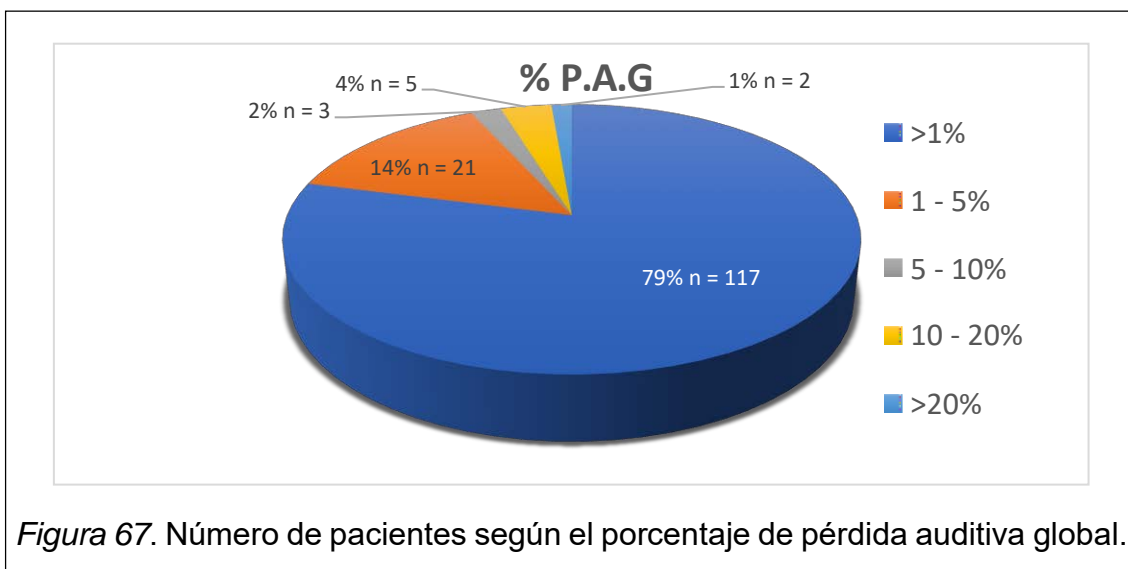


Tabla 46.

Análisis estadístico del test de A.M.A bilateral

Media %:	1,6
Max %:	85,5
Desviación Estándar:	7,5

El test de A.M.A (American Medical Association), demuestra que casi 4 de cada 5 músicos posee una excelente audición en frecuencias conversacionales y prácticamente uno de cada 7 pacientes posee una buena audición considerada como hipoacusia normal. En otras palabras, el 93% de los participantes, no posee una discapacidad auditiva, lo cual les permite desenvolverse adecuadamente en una conversación. Por otro lado solo 10 participantes poseen una discapacidad auditiva del 5% en adelante.

Este test demuestra que la audición general de los músicos es buena, además de que más del 90% de ellos tiene una edad menor a 30 años y un promedio de solo 4 años de haber practicado un instrumento., sin embargo, estos test no analizan la sordera profesional o la predisposición a esta, sobre todo en frecuencias altas: 4, 6 y 8 Khz, siendo las 2 primeras las más importantes.

4.3.3. Test de ELI

Llamado también como Índice de sordera temprana, tiene varios grados: Tabla 47.

Escala de Clasificación ELI

ESCALA ELI		
Pérdida corregida, dB	Grado ELI	Clasificación
< 8	A	Excelente
8 - 14	B	Normal
15 - 22	C	Leve
23 - 29	D	Sospecha o Inicio de Sordera
> 30	E	Claro indicio de sordera

Con este test se podrá determinar el índice de pérdida auditiva temprana y la predisposición a desarrollarla, la siguiente tabla indica el promedio de nivel liminar en todos los músicos en la frecuencia de 4 Khz, 6 Khz y 8 Khz para ambos oídos:

Tabla 48.

Media de umbrales auditivos para frecuencias agudas.

Frecuencia (Hz)	4 Khz	6 Khz	8 Khz
Oído Derecho HL (dB)	5,9	8,9	8,4
Oído Izquierdo HL (dB)	6,0	12,1	9,3

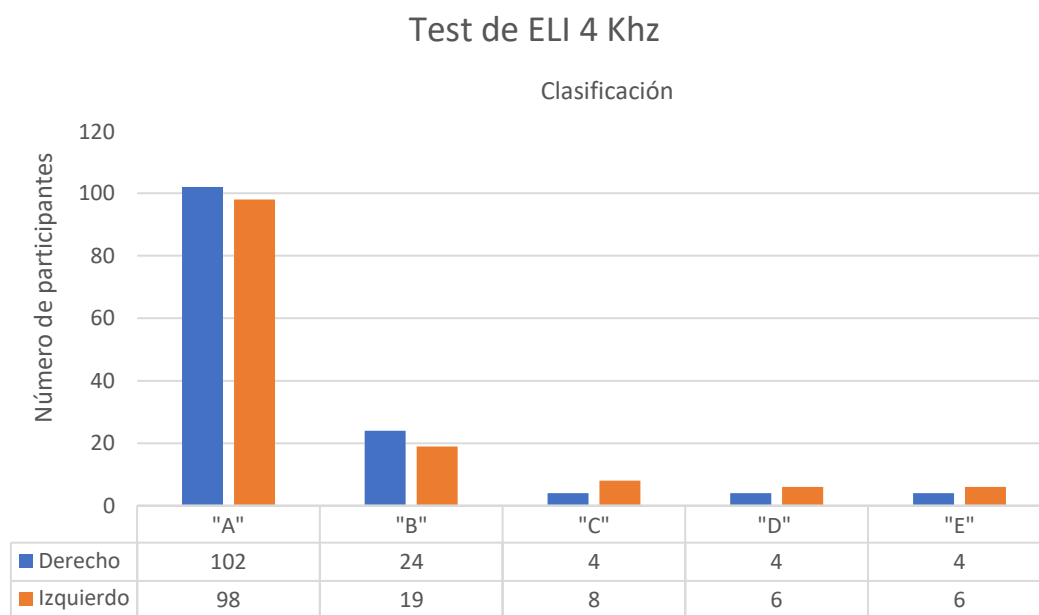


Figura 68. Comparativa entre resultados según el tipo de clasificación de la escala ELI, para 4 Khz en ambos oídos.

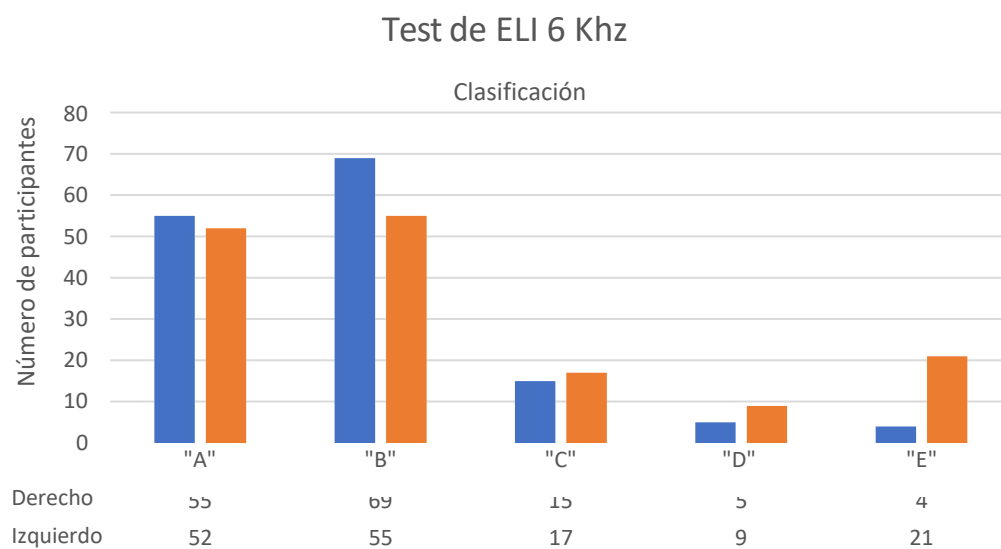


Figura 69. Comparativa entre resultados según el tipo de clasificación de la escala ELI, para 6 Khz.

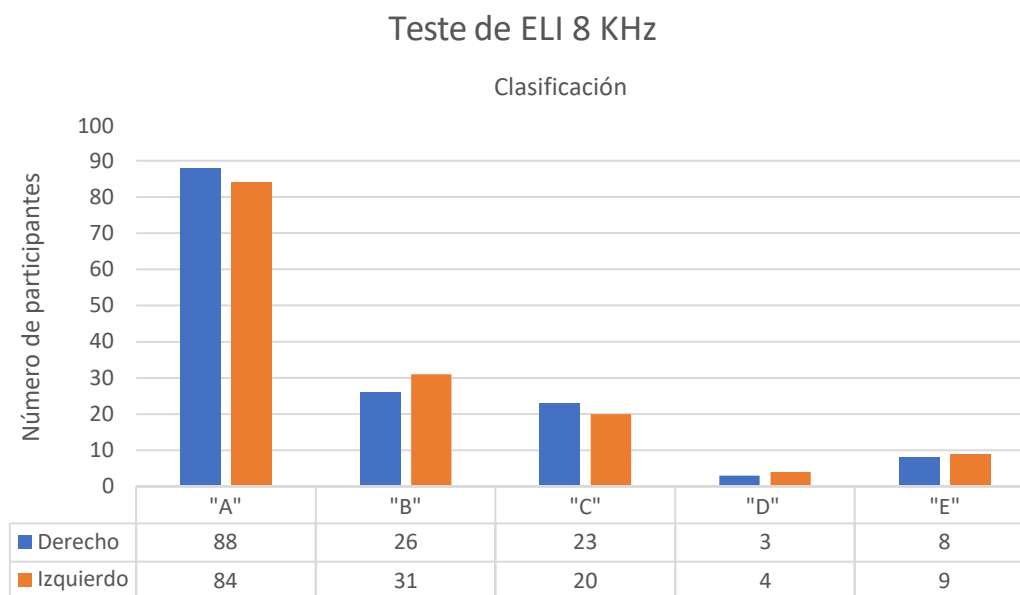


Figura 70. Comparativa entre resultados según el tipo de clasificación de la escala ELI, para 8 KHz.

Comparativa entre frecuencias altas:

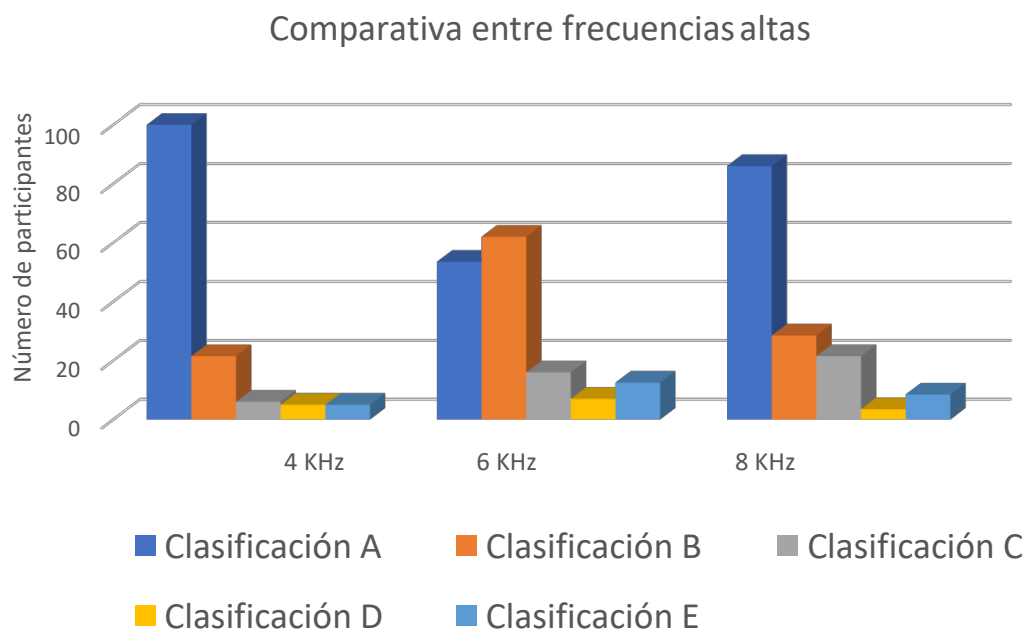


Figura 71. Comparativa entre resultados de frecuencias altas, según el tipo de clasificación de la escala ELI.

Los resultados evidencian, que existe una clara afectación en la frecuencia de 6 KHz, (en donde se evidencia una menor clasificación A “excelente que en el resto de frecuencias) seguida de 8 KHz, en donde un porcentaje considerable posee un grado de daño de tipo C, D y E.

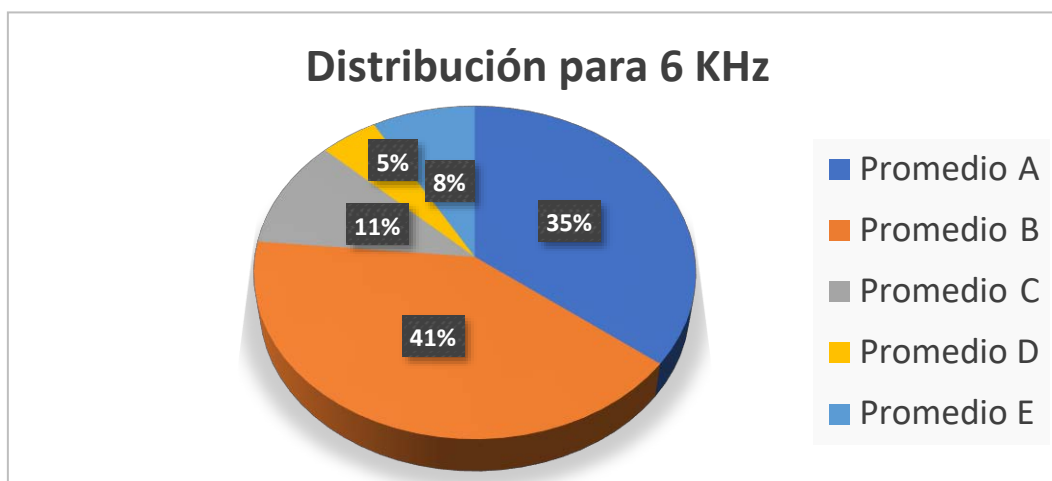


Figura 72. Distribución porcentual según la clasificación ELI.

El gráfico anterior evidencia una audición normal, en comparación a la audición considerada excelente en las otras frecuencias aledañas, por otro lado, los pacientes pertenecientes a esta estadística, poseen una clara evidencia de desarrollar una sordera profesional temprana en un 5%, mientras que un 8% ya posee un claro indicio de sordera.

No obstante, en este apartado de resultados, se analizó a las clasificaciones, a las frecuencias y los test de manera separada, así como a los músicos de manera global.

4.4. Análisis de Niveles Audición

Es importante mencionar que, en los siguientes resultados, se excluyó a pacientes con patologías graves de audición, como sordera súbita, traumas acústicos importantes, infecciones, antecedentes de operación en el oído y personas que hayan ingerido algún medicamento ototóxico. Problemas auditivos como acúfenos, hipoacusias de todo tipo y tinnitus recurrente o permanente, **SI** fueron incluidos ya que dichas patologías son de carácter muy común en la muestra total y alrededor de un 40% las padecen. En otras palabras, fueron excluidos los individuos con antecedentes que no tienen nada que ver con la

música o la exposición al ruido de conciertos y eventos. Por otro lado, en cada comparativa se colocará los niveles de significancia o valor p, para visualizar que tan similares son los resultados, a mayor semejanza, mayor será el valor de p, así como también las barras de error que muestran la fluctuación posible del resultado a un máximo y mínimo índice de confianza. Cabe recalcar que en la mayoría de las comparativas, las barras de error únicamente se muestran en un solo de los resultados para una mejor visualización, además de que poseen el mismo valor en ambos resultados.

En segundo lugar, no se excluyó de la muestra a los pacientes mayores de 30 años y en lugar de eso, fueron aplicados con una corrección por presbiacusia.

Por último, se aplicó la corrección de audiófonos del modelo TDH39 al DD45, ajustando a la calibración correcta y se realizó también un análisis de la muestra correspondiente al grupo de control de no músicos (18 en total) para finalmente comparar todos estos valores. En cada comparativa se colocará los niveles de significancia o valor p, para visualizar que tan similares son los resultados, a mayor semejanza, mayor será el valor de p.

4.4.1. Comparativa global entre oídos en HL

Ambas tablas de nivel auditivo y sus componentes estadísticos para cada oído:

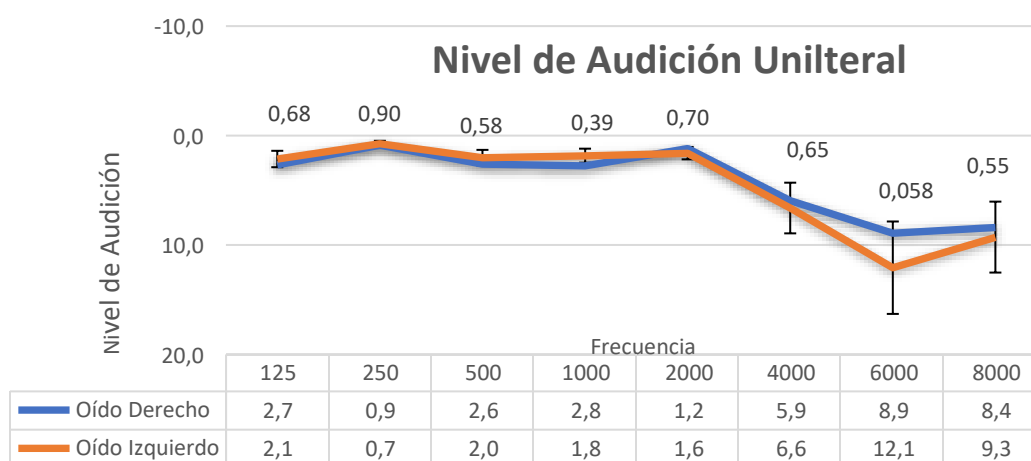


Figura 73. Comparativa del nivel auditivo global de los músicos encuestados de hasta 30 años (90%) y mayores a 30 años con corrección de Presbiacusia (10%), con un porcentaje de confiabilidad del 95%.

En el resultado se observa que ambos oídos poseen una respuesta similar con una diferencia menor a 1 dB en todas las frecuencias de banda de octava y una diferencia de 3 dB en 6 KHz solamente. Las cifras descritas encima de las líneas son, los valores p de significancia.

En el siguiente gráfico se muestra una comparación en el umbral auditivo bilateral global de los músicos encuestados con el umbral auditivo de la población ontológicamente normal menor a 30 años, de la norma ISO 7029 y el grupo de control de no músicos:

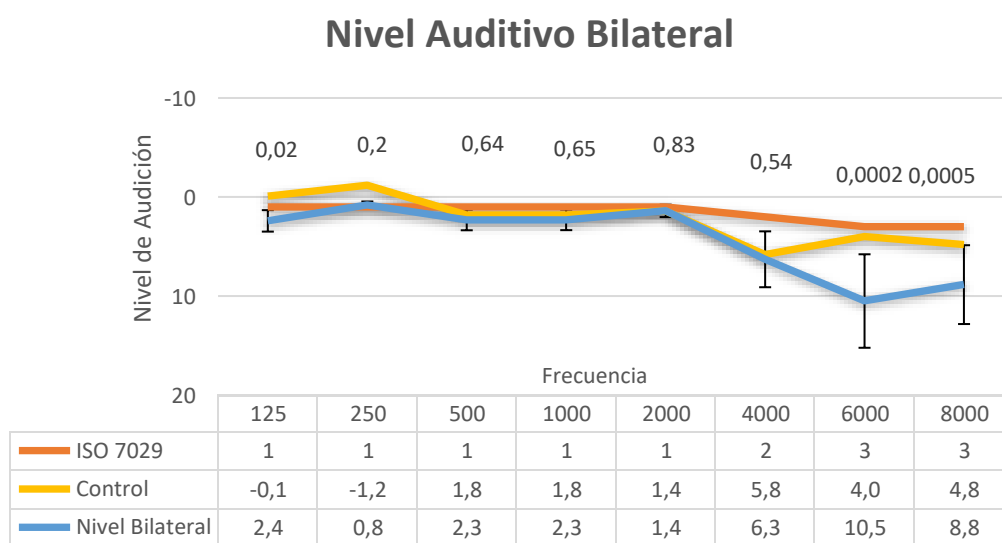


Figura 74. Comparativa de niveles auditivos entre la norma ISO 7029 (color naranja), los músicos participantes (color azul) y el grupo de control (amarillo).

Las frecuencias medias son las menos afectadas y eso se demostró en los test de frecuencias conversacionales, donde muy pocos pacientes tenían una discapacidad. Por último, las frecuencias agudas son las más afectas con una mayor diferencia en 6 KHz con 6 dB, seguida de 8 KHz con una diferencia de 4 dB entre el grupo de control y el grupo de músicos. Por último, el grupo de control también registra un daño similar al grupo de músicos en 4 KHz.

Se concluye que existe una clara evidencia de desplazamiento auditivo en músicos (aunque no de manera grave), así como una clara predisposición a desarrollarla en un futuro (test de ELI) en comparación al resto de la población.

4.4.2. Comparativa entre sexo

El siguiente gráfico compara el umbral auditivo global de todos los músicos de sexo masculino y femenino. Cabe recalcar que se hizo un test de ANOVA debido a que entre la media de ambos sexos existe una diferencia muestral de entre hombres y mujeres con una relación de 4 a 1, el valor de significancia p, se encuentra encima de ambas curvas.

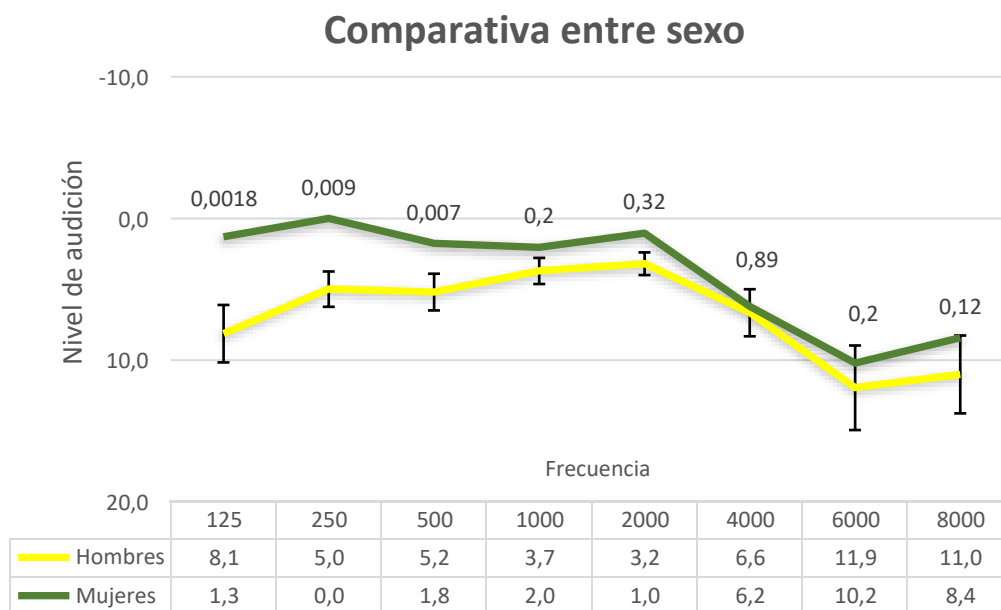


Figura 75. En color naranja el nivel auditivo de mujeres y en color amarillo el de varones

En este caso se cumple la diferencia de umbral auditivo entre ambos sexos, como resultado los hombres poseen un nivel liminar mayor (peor audición) que las mujeres y con una mayor diferencia a medida que baja la frecuencia a partir de 2000 Hz, según la norma ISO 7029. No obstante, este gráfico no toma en cuenta el instrumento ni los años de práctica que es lo que se busca, además de que absolutamente todos los bateristas y mayor parte de guitarristas de música extrema, pertenecen al grupo de los hombres.

4.4.3. Comparativa entre antecedentes

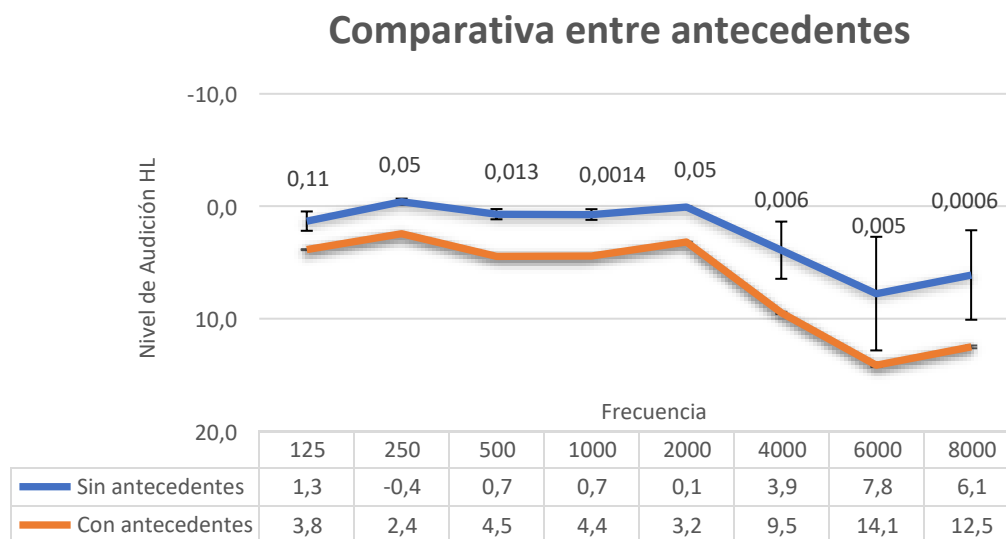


Figura 76. Comparativa entre niveles auditivos de personas con antecedentes (color naranja) y personas sin antecedentes de problemas auditivos (color azul)

El gráfico muestra una indiscutible diferencia entre los pacientes que poseen antecedentes y los que no la tienen, con un claro mejor nivel de audición en el segundo caso, siendo los antecedentes un factor importante a la hora de analizar el instrumento de interpretación y de separar las variables si se requiriera. Para el futuro análisis entre instrumentos, se tomarán a pacientes tanto con antecedentes como sin antecedentes, debido a que un 40% del total, presenta estos, siendo un factor incluyente en los músicos. Únicamente se excluirá a pacientes con antecedentes graves de afección auditiva y contraídos por factores ajenos a la música (disparos, traumas, sangrado, etc.). Los niveles de significancia entre ambos valores en todas las frecuencias, son menores al 5% ($< 0,05$) en todos los casos, lo cual demuestra que existe una diferencia considerable entre los participantes con y sin antecedentes en todas las frecuencias.

4.4.4. Exposición al ruido

En la siguiente gráfica se comparan los niveles liminares entre los pacientes que consideran estar y haber estado expuestos al ruido (tomando en cuenta sus antecedentes también):

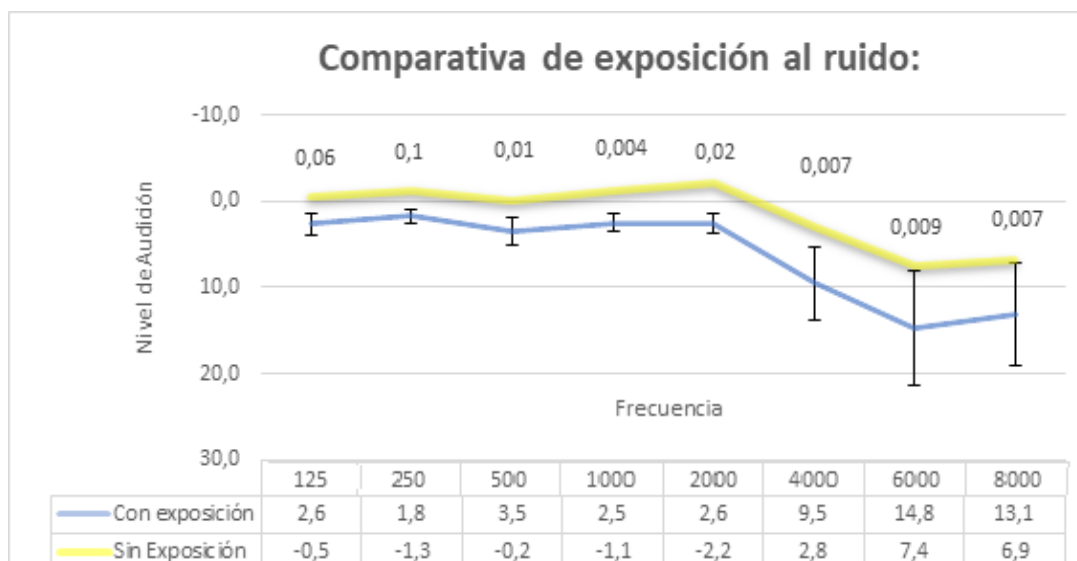


Figura 77. Comparativa entre niveles auditivos de personas que consideran que poseen exposición al ruido (azul) y personas con exposición (color amarillo).

En este gráfico se pudo evidenciar que la exposición al ruido, así sea de manera subjetiva (los pacientes consideran que están expuestos) si es una variable importante que empeora la audición del paciente. Para el análisis futuro de comparación de umbrales según el instrumento, se tomará a ambos valores ya que como se mencionó anteriormente, de los pacientes que afirman tener una exposición molesta al ruido (40%), no se tiene un valor cuantitativo de cuantas horas y a qué nivel están expuestos. Los niveles de significancia son menores al 6% exceptuando la frecuencia de 250 Hz.

4.4.5. Conciertos y discotecas al año

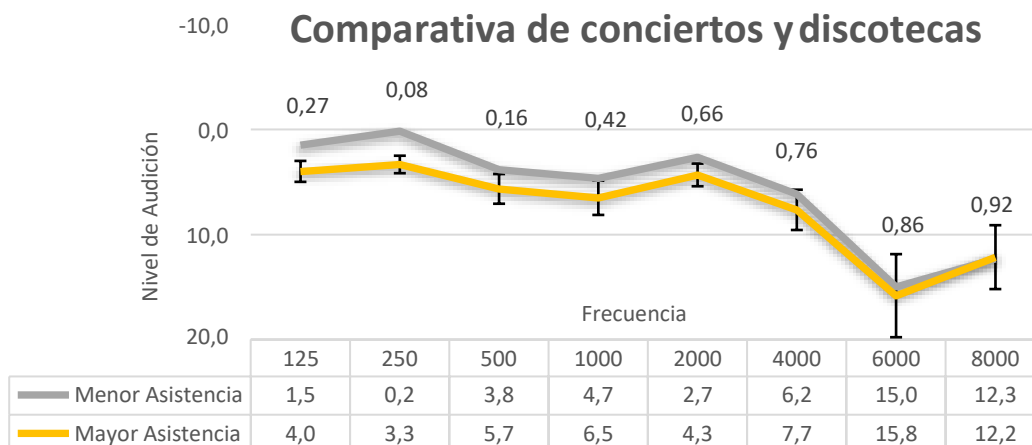


Figura 78. Diferencia de niveles auditivos de personas con una asistencia menor a la media de 15 conciertos/discotecas por año y personas con una asistencia mayor al promedio.

Se evidencia una ligera diferencia entre umbrales de pacientes con menor y mayor asistencia a conciertos por año. Hay que notar que la brecha se acorta a medida que sube la frecuencia. Ambos valores se tomarán en cuenta para el análisis futuro de umbrales auditivos inter instrumentales, ya que alrededor del 80% asiste a conciertos y discotecas.

4.4.6. Reproductores Portátiles

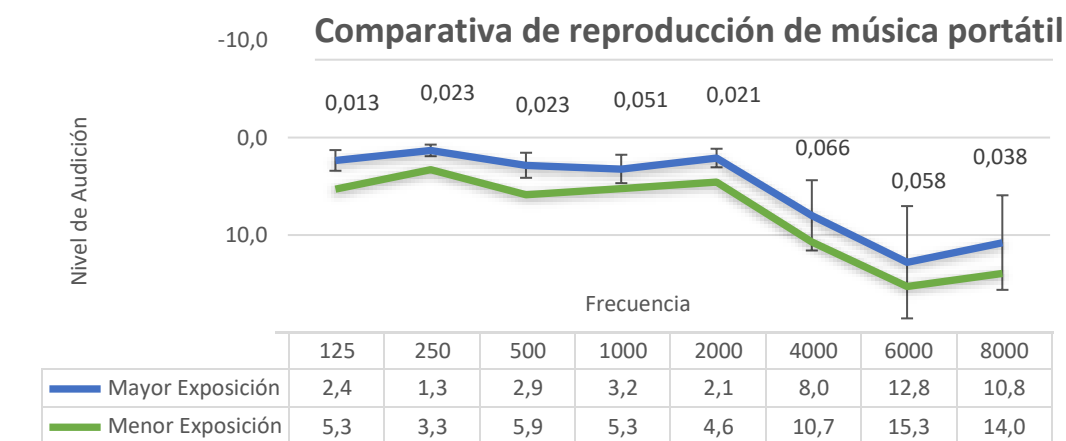


Figura 79. Diferencia de niveles auditivos de personas con un mayor registro de horas de reproducción semanales (verde) en dispositivos de música a la media de 11 horas por semana con pacientes menor registro a dicho promedio (azul).

Se evidencia una diferencia no tan marcada, pero si regular en absolutamente todas las frecuencias medidas en los 2 grupos. Ambos grupos se analizarán de manera global para umbrales inter instrumentales, debido a que más del 90% escuchan música con reproductores y la diferencia de umbrales mayores y menores a la media es de 2 a 3 dB solamente. Al valor p demuestra que existe una diferencia significativa entre ambos grupos.

4.4.7 Tiempo de interpretación global

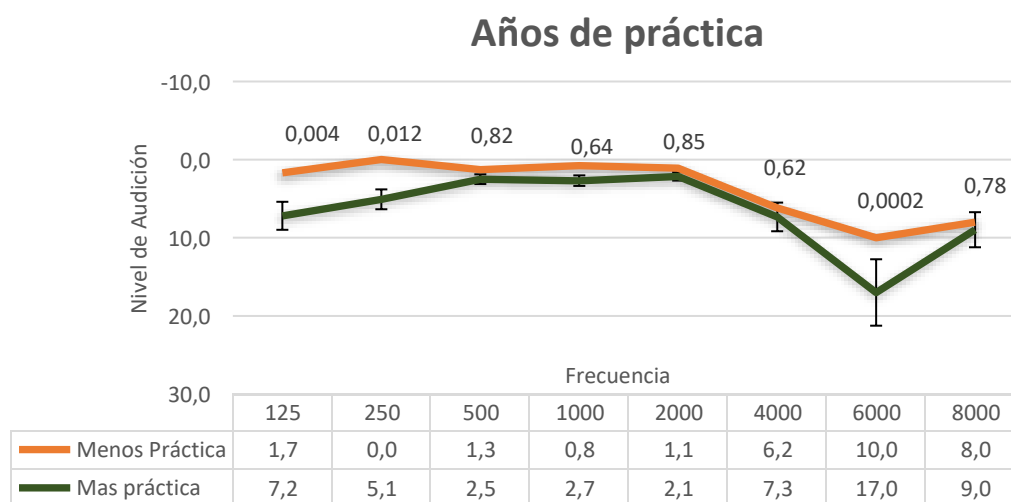


Figura 80. Diferencia de niveles de audición entre participantes con menos de la media y mas de la media (media = 3,67 años corregida).

Se concluye que existe una ligera diferencia de máximo 2 dB en los años de práctica, en frecuencias medias, y una mayor diferencia en frecuencias altas y bajas.

4.4.8 Comparativa final de factores de afección auditiva

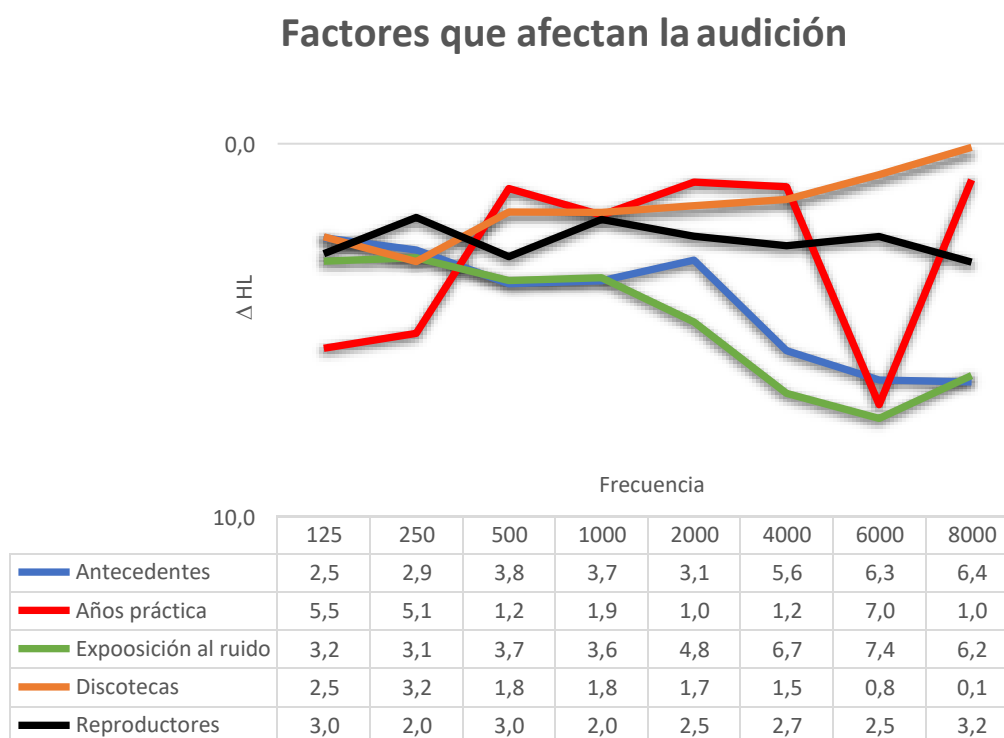


Figura 81. El valor del eje y, representa la diferencia de niveles auditivos entre las 2 comparativas para cada factor realizadas anteriormente en dB HL, el eje x la frecuencia.

El gráfico anterior indica el comportamiento que posee la audición de acuerdo a cada factor anteriormente analizado, demostrando así que los años de práctica inciden de peor forma en la frecuencia de 6 KHz, en comparativa al resto, al igual que las frecuencias bajas (125 y 250 Hz). Por otro lado, los factores que mayor impacto auditivo poseen son los antecedentes (tinnitus, hiperacusia, etc.) y la exposición al ruido, estableciendo que este último compromete las frecuencias agudas en un principio, para posteriormente afectar a las medias y por último a las bajas.

4.4.9 Comparativa entre participantes de con y sin factores de afección auditiva

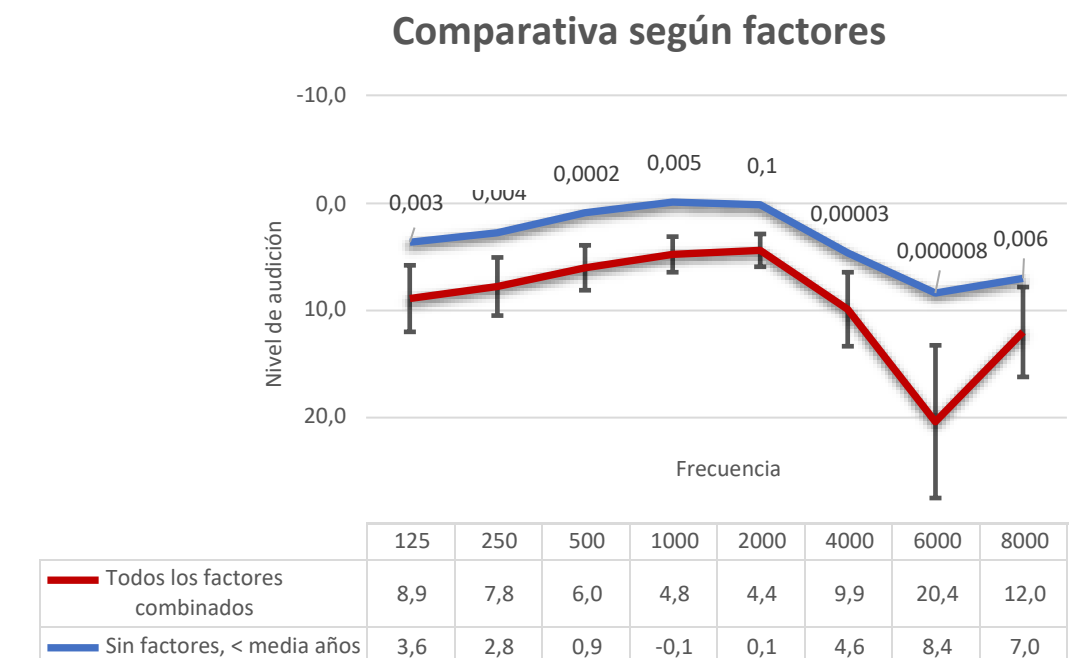


Figura 82. Diferencia de niveles auditivos de participantes músicos que no poseen factores de antecedentes auditivos (exposición al ruido, música portátil, tinnitus, discotecas) y un registro de años menor al promedio (color azul) y participantes que posee todos los factores de afección auditiva combinados, así como también un registro mayor al promedio de 3,67 años.

En este caso se comparó los niveles auditivos de participantes en ambos extremos, es decir en músicos sin exposición al ruido, baja asistencia a discotecas, sin antecedentes de tinnitus, un registro de reproducción de horas de música portátil menor al promedio y por último un registro de años de práctica también menor al promedio. Por otro lado, en color rojo, se establece al número de participantes con todos los factores anteriormente mencionados combinados (promedio mayor en música portátil, sin tinnitus, etc), así como un registro de años de práctica mayor al promedio. Se evidencia un comportamiento de audición considerablemente menor y regular entre las 2 curvas, no obstante, la diferencia es mayor en 6000 Hz. El número de participantes es de 15 y 21 músicos respectivamente.

4.5. Análisis de umbrales auditivos según el instrumento musical, basado en tiempo de interpretación y género musical

Analizado ya todos los factores antes mencionados, se puede realizar un análisis de comparación de umbrales auditivos según el instrumento musical, ya que se pueden apartar y/o ajustar las variables antes vistas para un correcto estudio. Se analizarán los resultados de umbrales en los siguientes 5 instrumentos musicales: Guitarra, batería, canto, piano y bajo, debido a que el resto, tienen muy poca cantidad de muestra. El test de ELI para cada instrumento por separado, también será realizado, para determinar que instrumento provoca una mayor predisposición a desarrollar sordera profesional. La frecuencia que se tomará en cuenta es la que peor umbral auditivo ofrece, es decir la de 6 KHz.

4.5.1. Tiempo de interpretación a través de los años

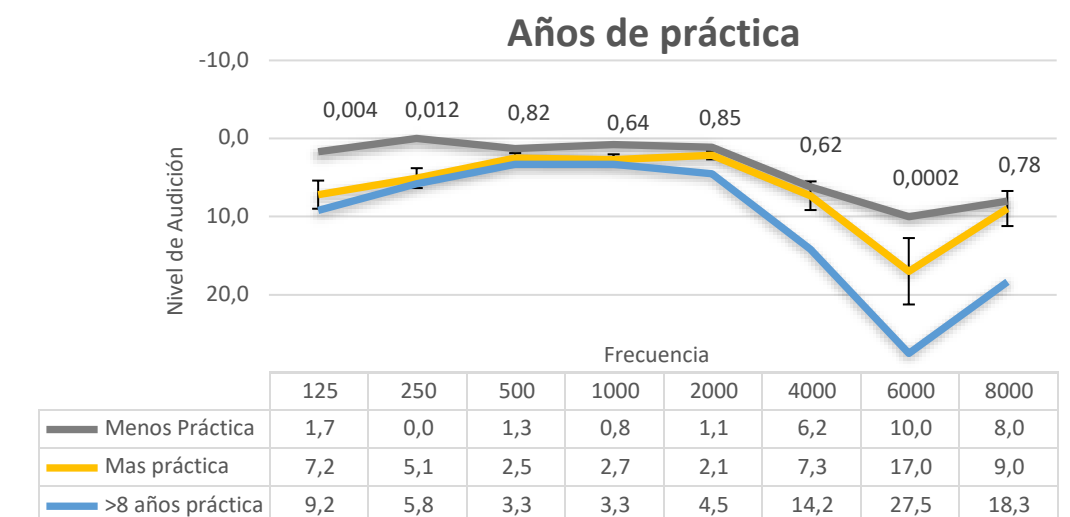


Figura 83. Diferencia de niveles auditivos de personas con un mayor registro de años de práctica a la media (color amarillo) de 3,67, con pacientes de menor registro a dicho promedio (color gris) y en color azul a los participantes (15 en total) con un registro mayor a 8 años.

Las barras de error siguen la misma tendencia con un mayor valor de los índices de confianza en las frecuencias agudas, debido a la varianza de datos en esas frecuencias. El valor p es entre la comparación entre menos y más años de práctica y por último el resultado en color celeste, representa a un pequeño grupo de participantes con un registro de más de 8 años (corregido) de interpretación,

con una muestra de alrededor de 15 músicos, evidenciando el daño provocado a través de los años de práctica.

4.5.2. Guitarristas

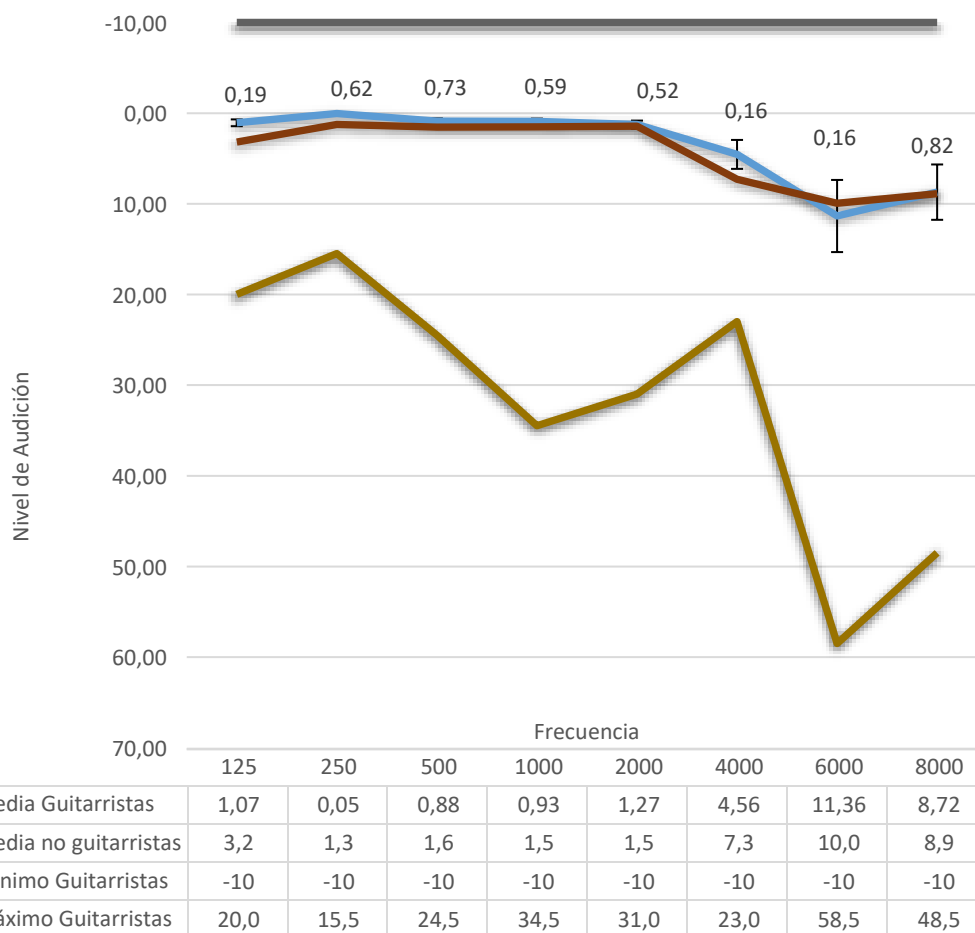


Figura 84. Niveles auditivos de guitarristas (promedio, desviación estándar, máx., mín.) y el promedio de músicos no guitarristas en color café.

La media del nivel auditivo de los guitarristas es ligeramente menor al promedio global, la diferencia se incrementa a mayor frecuencia, con una desviación mayor en la frecuencia de 4 KHz (3 dB) en comparación al nivel liminar de no guitarristas. El nivel de significancia es mayor en 6 y 8 KHz, así como la barra de error.

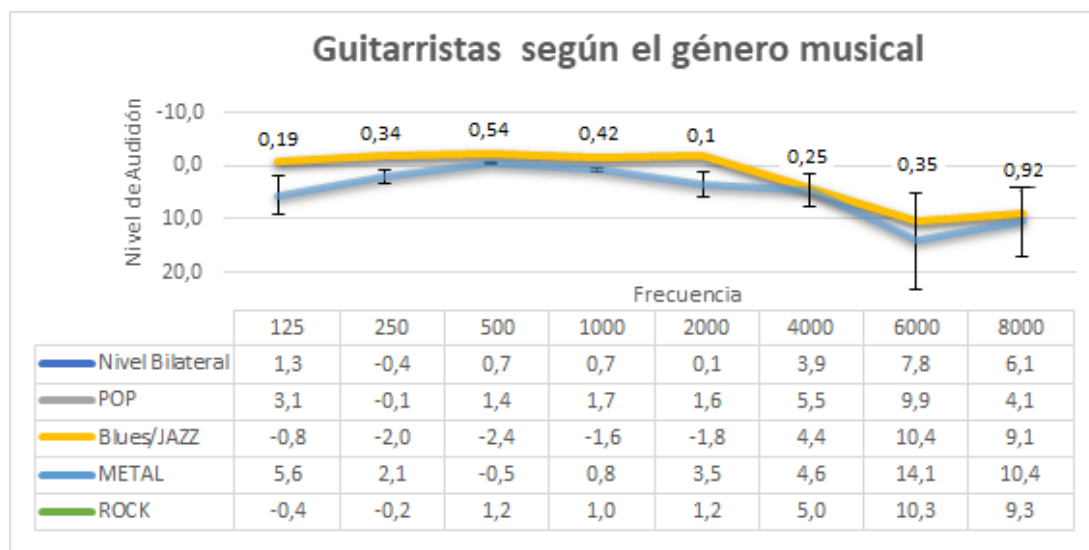


Figura 85. Nivel de audición según el género musical en guitarristas.

En el gráfico anterior se evidencia una ligera diferencia entre los géneros musicales más representativos, pero si una clara brecha entre el mejor y el peor. Estilos como el Metal o Hardcore provocan una mayor afectación auditiva que el resto de géneros musicales sobre todo en baja y alta frecuencia. Por otro lado, el promedio de estilos como el Blues y el Jazz es inferior (mejor) que el resto de géneros. En color azul se representa el umbral bilateral o global de los músicos en ambos oídos.

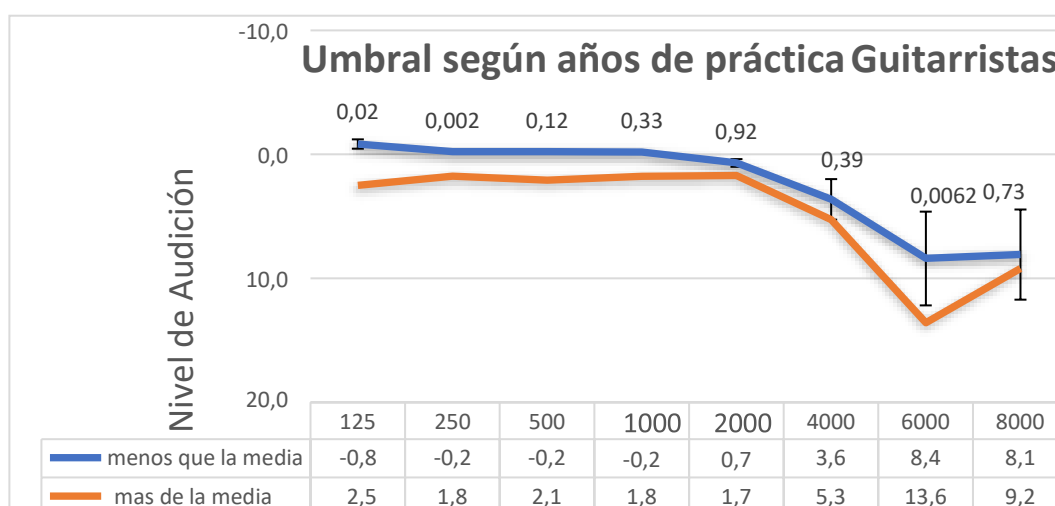


Figura 86. Diferencia de niveles auditivos de músicos guitarristas con un mayor registro de años de práctica a la media (color naranja) de 2 años, con pacientes de menor registro a dicho promedio (color azul).

Test ELI Guitarra

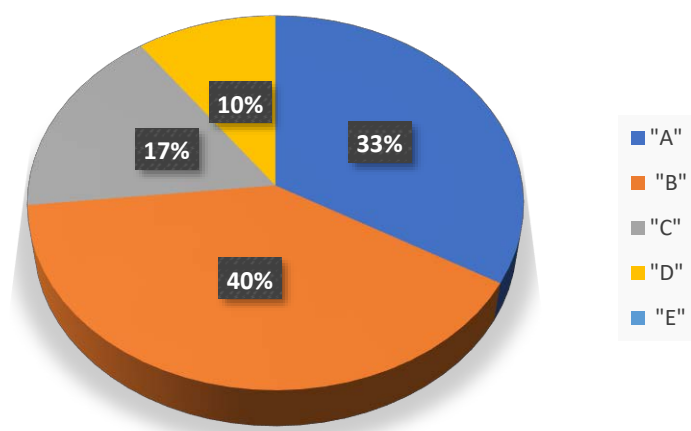


Figura 87. Porcentaje según la clasificación de predisponer sordera en el test de Índice de pérdida auditiva temprana en guitarristas.

El gráfico anterior, muestra que un 17% de los guitarristas posee una leve sospecha de sordera, mientras que el 10% tienen una alta probabilidad de desarrollar una sordera profesional temprana. No existen registros de guitarristas con indicios claros de sordera, es decir con clasificación E.

4.5.3. Bateristas

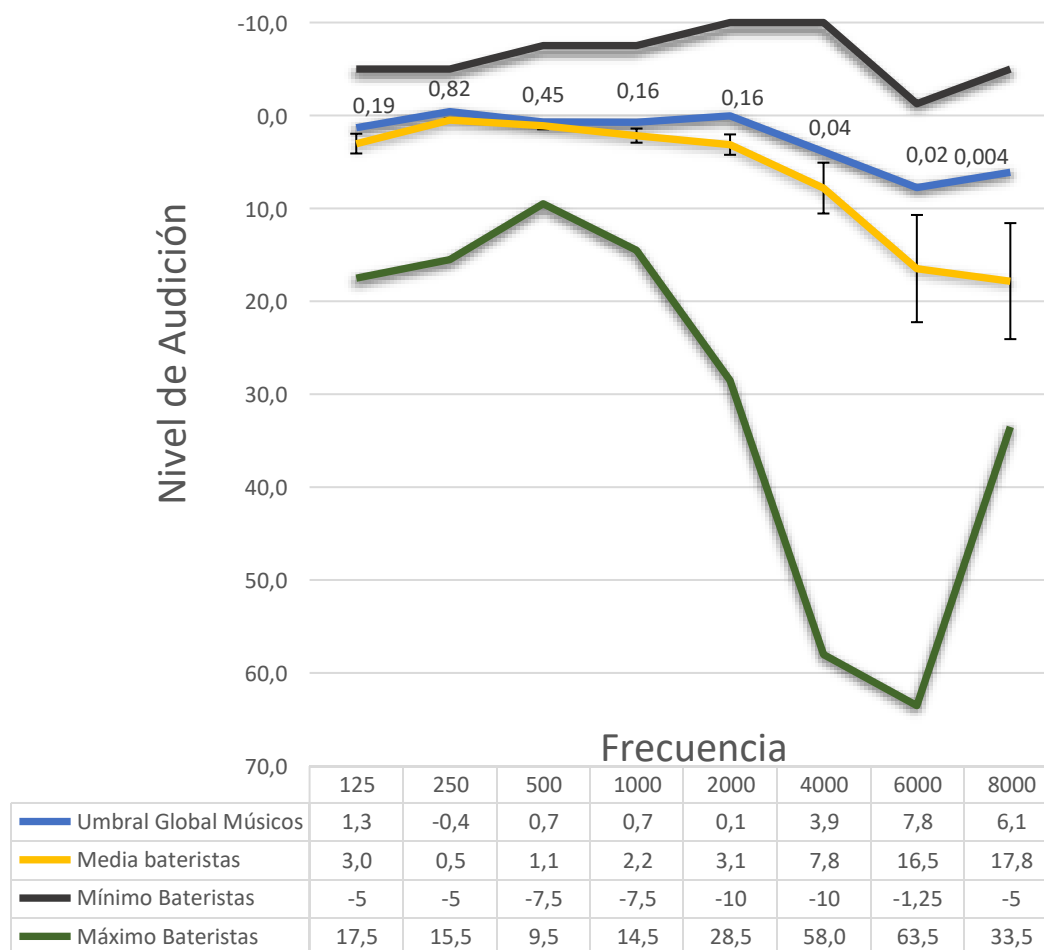


Figura 88. Umbrales auditivos de bateristas (desviación estándar promedio, máx., mín.) y el promedio global de todos los músicos no bateristas en color azul.

En este caso existe una diferencia más marcada entre el nivel global de músicos con el nivel medio de bateristas que en el anterior caso de análisis de guitarristas. La desviación estándar mínima del nivel auditivo también es peor en este caso. Se realizó una comparación de medias mediante el análisis de t Student, para obtener el nivel de significancia entre la media de bateristas y la media de los músicos no bateristas.

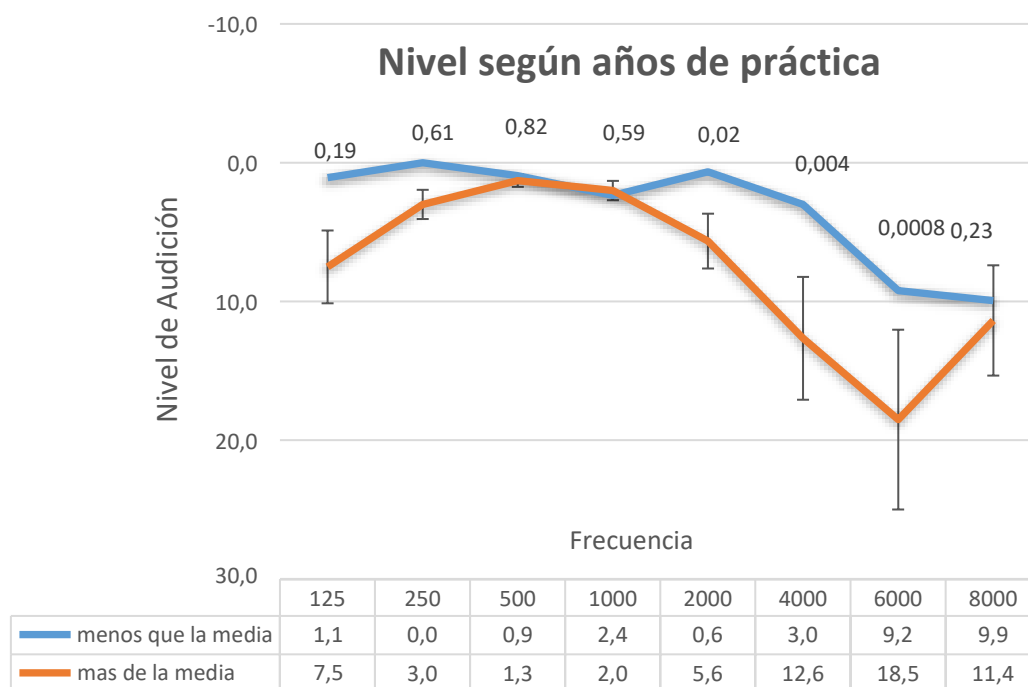


Figura 89. Diferencia de niveles auditivos de músicos bateristas con un mayor registro de años de práctica a la media (color naranja) de 2 años, con pacientes de menor registro a dicho promedio (color azul).

El gráfico muestra una clara deficiencia auditiva según los años de práctica en músicos con más de 2 años. No obstante, en frecuencias medias, la diferencia se acorta, siendo las frecuencias de 500 y 1000 Hz, con una afectación intacta a través del tiempo, seguida de 8 Khz, la cual presenta una ligera diferencia entre ambos umbrales.

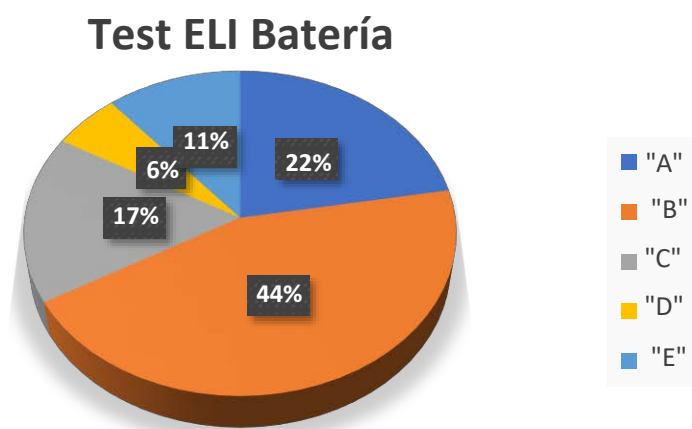


Figura 90. Porcentaje participantes según el test de ELI en bateristas.

El gráfico anterior, muestra que un 17% de los bateristas, tienen una leve predisposición a desarrollar una sordera profesional temprana, mientras que el 6% tiene un indicio de sordera y el 11% una alta probabilidad a desarrollar sordera.

Por último, con un máximo de 5 bateristas en un género musical con más cantidad de músicos y una media de 3 individuos por género. El análisis según dicha variable, no fue realizada.

4.5.4. Pianistas

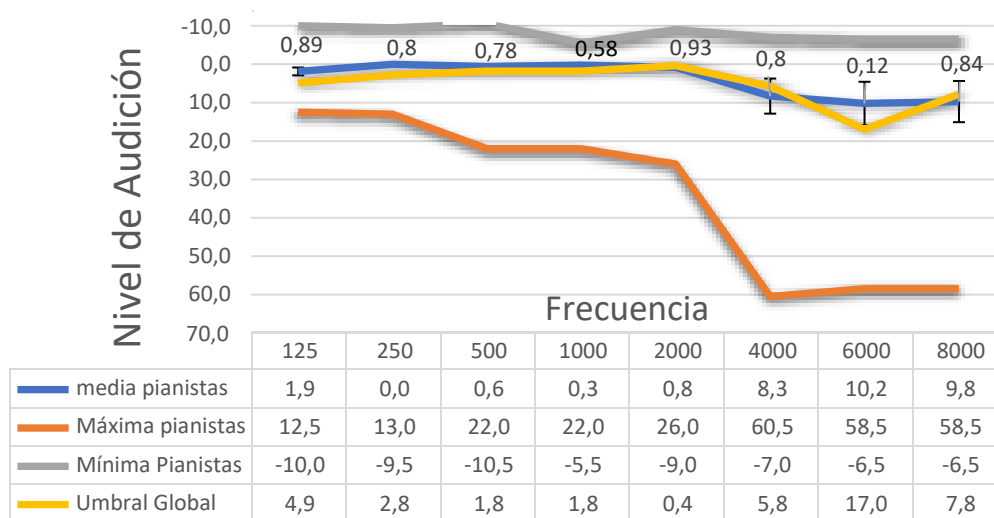


Figura 91. Umbrales auditivos de pianistas en HL (media, desviación estándar promedio máx., mín.) y el promedio global de todos los músicos no pianistas en color amarillo.

El resultado de este gráfico demuestra que la media del nivel auditivo de los pianistas examinados, coincide de manera casi idéntica al nivel auditivo global de no músicos, siendo inclusive mejor en 6 KHz por alrededor de 6 dB.

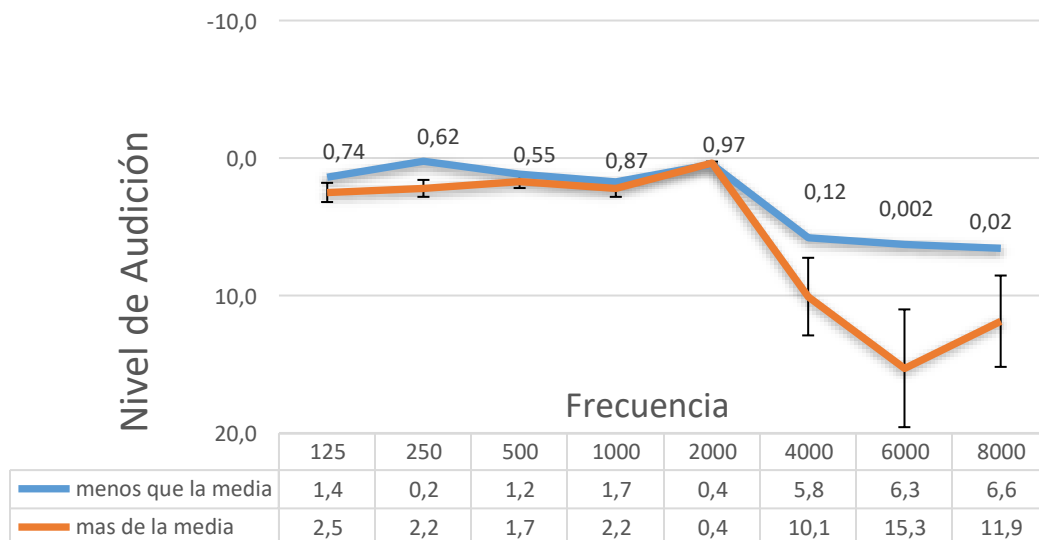


Figura 92. Diferencia de niveles auditivos de músicos Pianistas con un mayor registro de años de práctica a la media (color naranja) de 3 años, y con pacientes de menor registro a dicho promedio (color azul)

En última instancia, el análisis según el género musical no será realizada debido a que más de la mitad de los participantes pianistas, interpretan música clásica, dejando al resto de estilos musicales que muestras iguales o menores a 3.

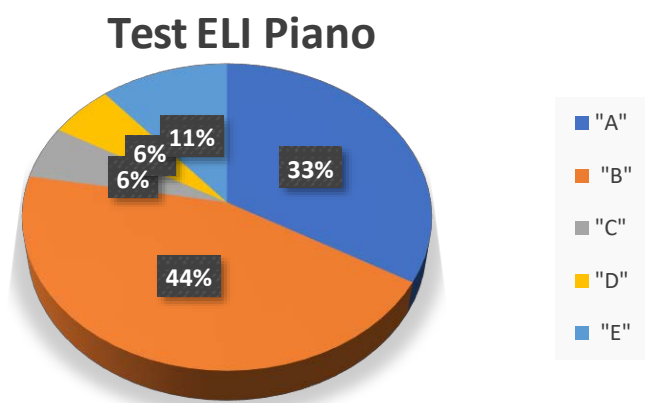


Figura 93. Porcentaje según la clasificación de predisponer sordera en el test de Índice de pérdida auditiva temprana

El gráfico anterior, muestra que un 11% de los pianistas, tienen una alta probabilidad de desarrollar una sordera profesional temprana y el 6% ya la está desarrollando, ubicándose en la clasificación "D".

4.5.5. Bajistas

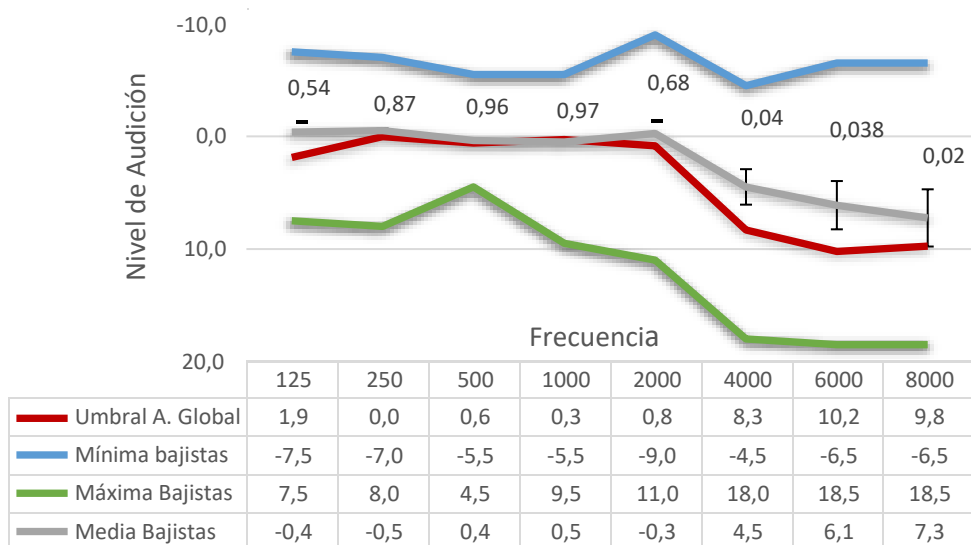


Figura 94. Umbrales auditivos de bajistas en HL (media, desviación promedio, máx.: mín.) y el promedio global de todos los músicos no bajistas (rojo).

El resultado de este gráfico demuestra que el nivel auditivo medio de los bajistas participantes está prácticamente al mismo nivel que el nivel medio global de todos los músicos no bajistas, en frecuencias medias siendo también la respuesta en frecuencias agudas considerablemente mejor.

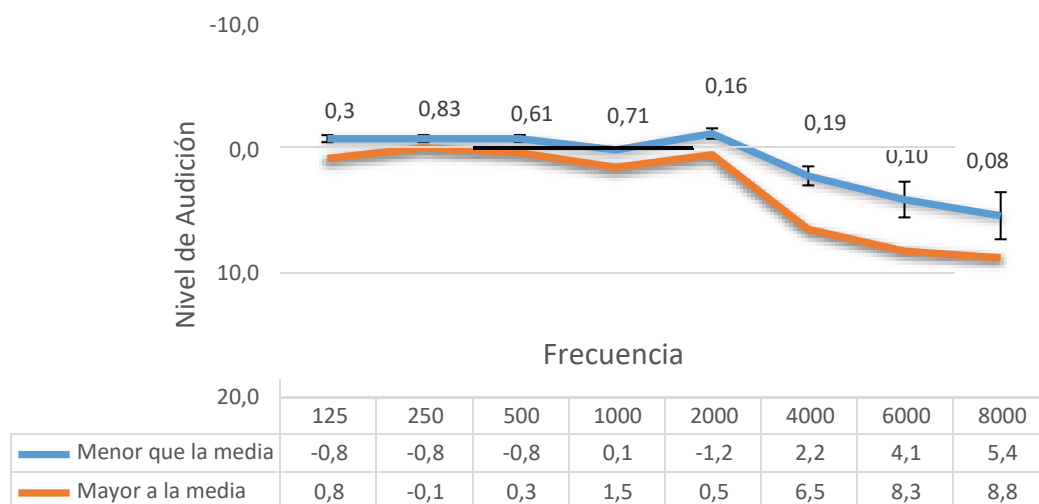


Figura 95. Diferencia de niveles auditivos de músicos bajistas con un mayor registro de años de práctica a la media (color naranja) de 1,4 años, y con pacientes de menor registro a dicho promedio (color azul)

El resultado indica que la diferencia es menor en frecuencias conversacionales y mayor en la frecuencia más baja (125 Hz), seguida por 8, 4 y 6 Khz, en orden de menor a mayor variación inter umbral. La tendencia de pérdida en estas frecuencias se mantiene como en todos los casos anteriores de otros instrumentos.

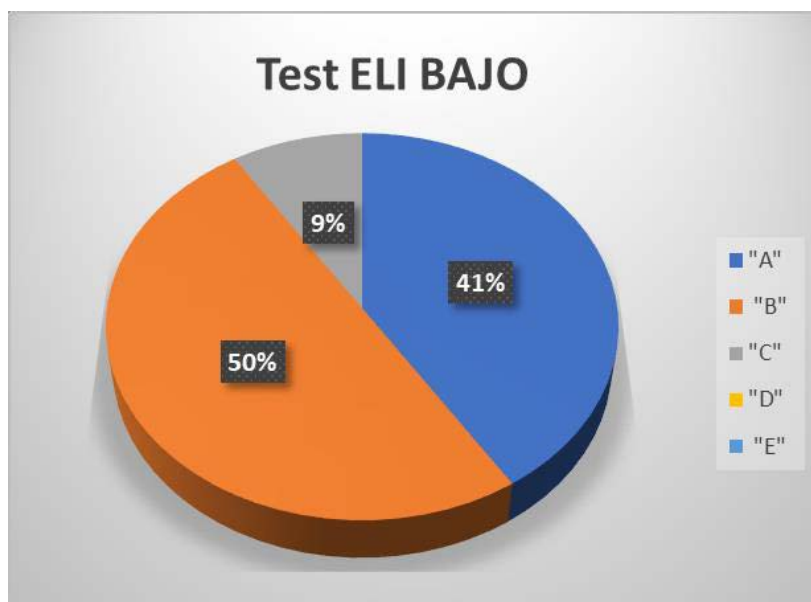


Figura 96. Porcentaje según la clasificación de predisponer sordera en el test de Índice de pérdida auditiva temprana en bajistas

El gráfico anterior, muestra que únicamente el 9% de los bajistas, tienen una baja probabilidad de desarrollar una sordera profesional temprana. Por otro lado, el 91% posee una normal-excelente audición.

4.5.6. Vocalistas

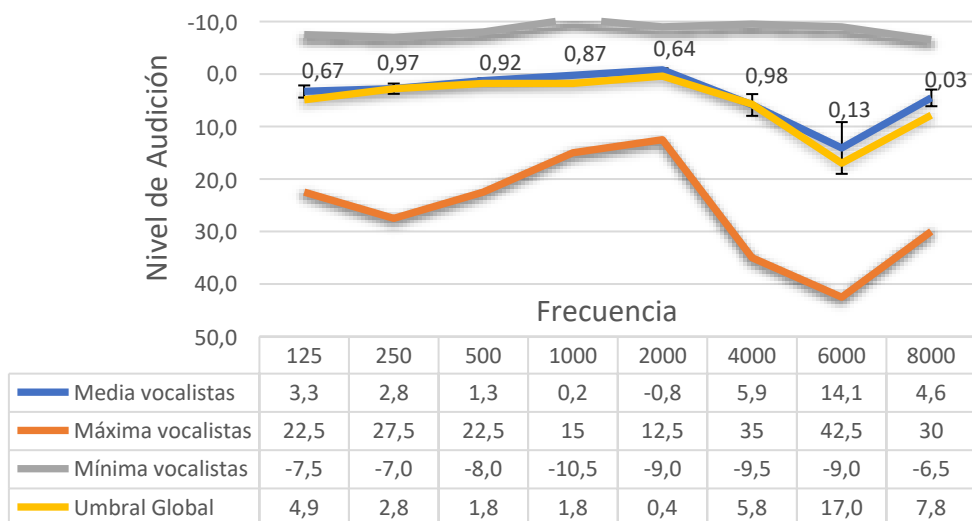


Figura 97. Niveles de audición de vocalistas (media, desviación promedio máx., mín.) y el promedio global de todos los músicos no vocalistas en color amarillo.

El resultado indica que el umbral auditivo promedio de todos los vocalistas es ligeramente menor (1 a 2 dB) en todas las frecuencias en absoluto y el margen se cumple con una diferencia un poco más abultada en frecuencias bajas. Nótese que a medida que sube la frecuencia, la diferencia se acorta, teniendo casi el mismo resultado en las frecuencias más agudas (6 y 8 KHz) entre el nivel promedio de vocalistas y el nivel promedio global de músicos no vocalistas.

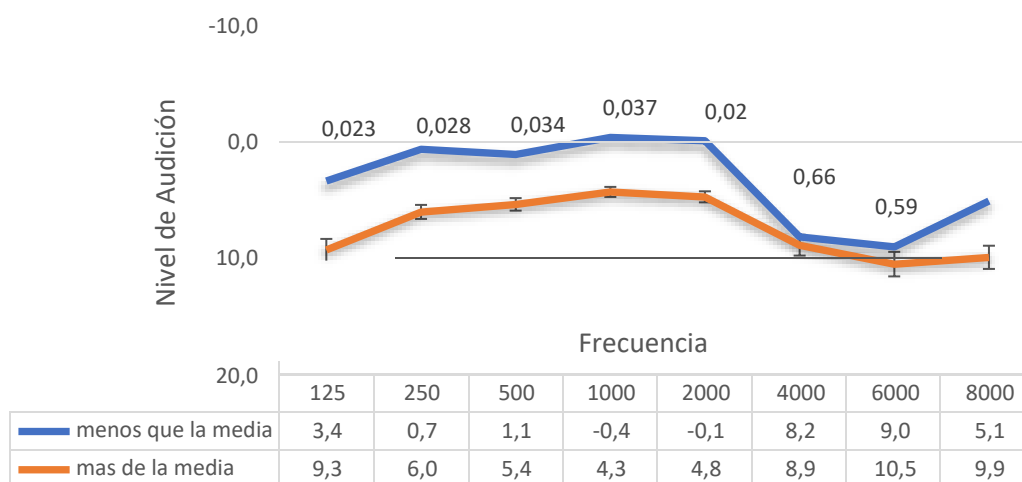


Figura 98. Diferencia de niveles auditivos de músicos vocalistas con un mayor registro de años de práctica a la media (color naranja) de 2,1 años, y con pacientes de menor registro a dicho promedio (color azul).

La brecha diferencial entre ambos niveles es mayor en frecuencias bajas y medias. En frecuencias agudas, no existe una diferencia importante exceptuando 8 KHz con una diferencia de 5 dB.

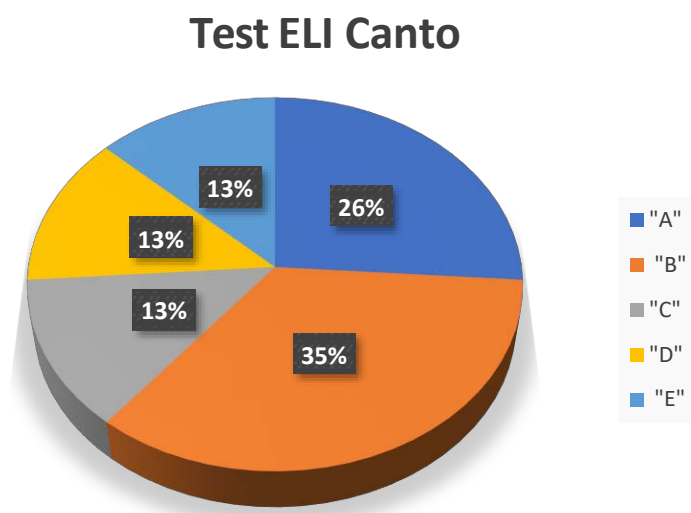


Figura 99. Porcentaje según la clasificación de predisponer sordera en el test de Índice de pérdida auditiva temprana en vocalistas

El gráfico anterior, muestra que un 13% de los vocalistas, tienen una alta probabilidad de desarrollar una sordera profesional temprana y el 13% ya la está desarrollando, ubicándose en la clasificación "E".

4.6. Resultado final comparativo

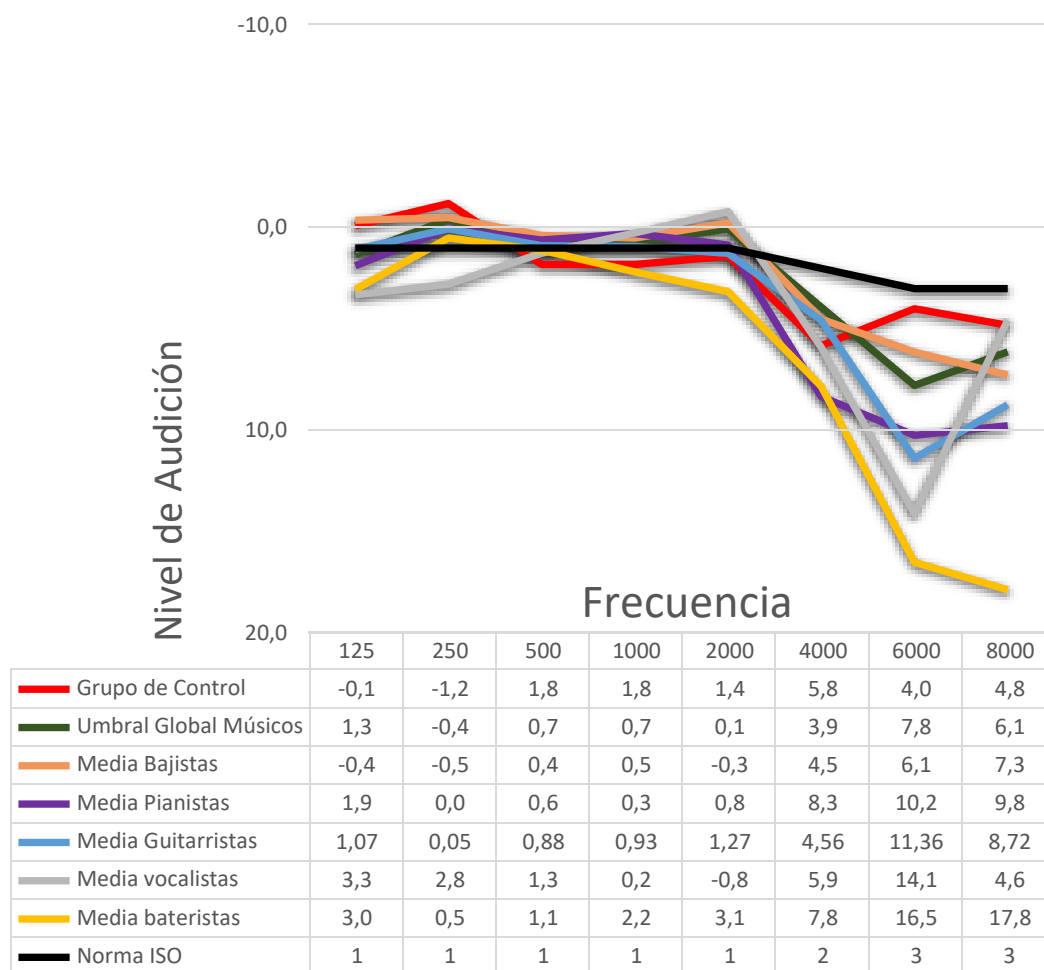


Figura 100. Diferencia de niveles medios auditivos de músicos bajistas, pianistas, guitarristas, vocalistas, bateristas, el nivel auditivo global de todos los músicos en color amarillo y el umbral aditivo promedio del grupo de control en color rojo.

El resultado indica que existe una marcada y concluyente diferencia del nivel auditivo entre todos los músicos según el instrumento, con un daño específico en 6 KHz.

Considerando al grupo de control como referencia, se puede establecer el siguiente gráfico:

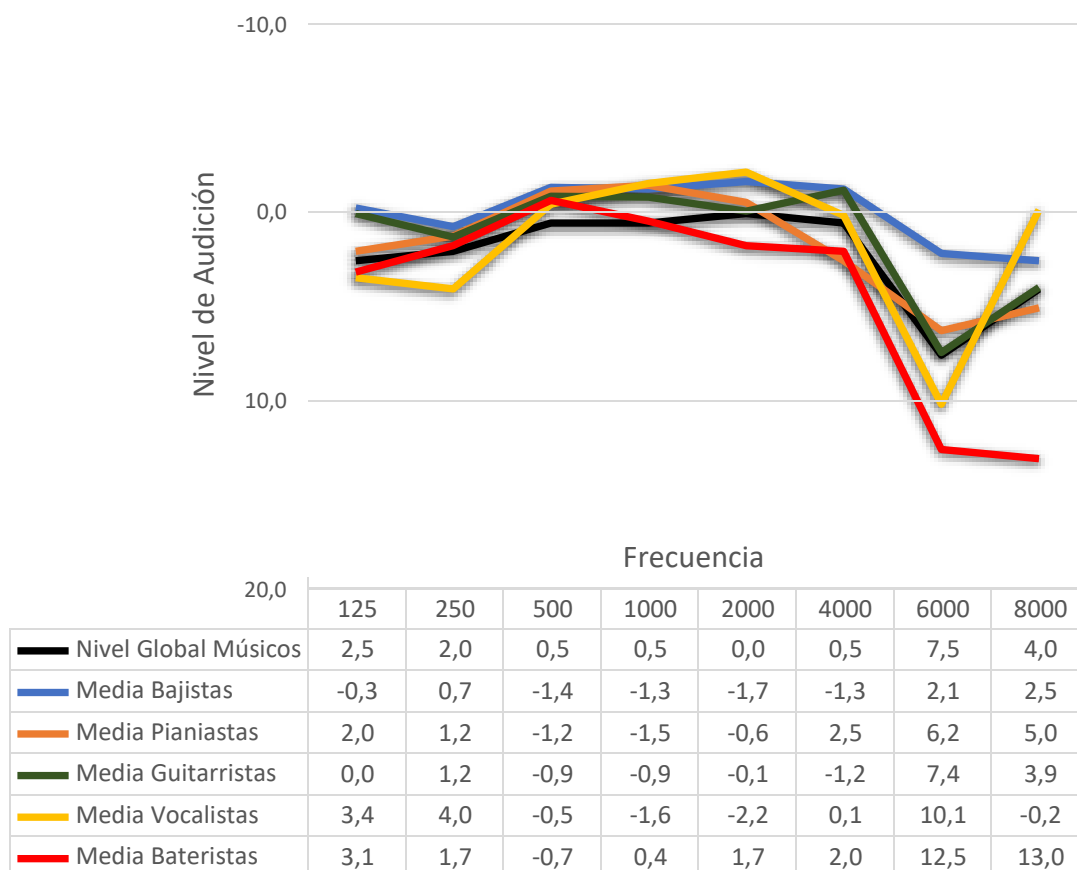


Figura 101. Diferencia de niveles auditivos medios de músicos bajistas, pianistas, guitarristas, vocalistas, bateristas y el nivel global, teniendo como referencia al grupo de control de no músicos.

Estableciendo al grupo de control como referencia, se puede apreciar que el daño en la frecuencia de 6 KHz, se mantiene, las frecuencias más afectadas después son 8 KHz, 125 Hz, 250 Hz y 4 KHz en orden de daño. Las frecuencias medias poseen una afectación muy leve, siendo intacta la frecuencia de 2000 Hz en comparación al grupo global de músicos.

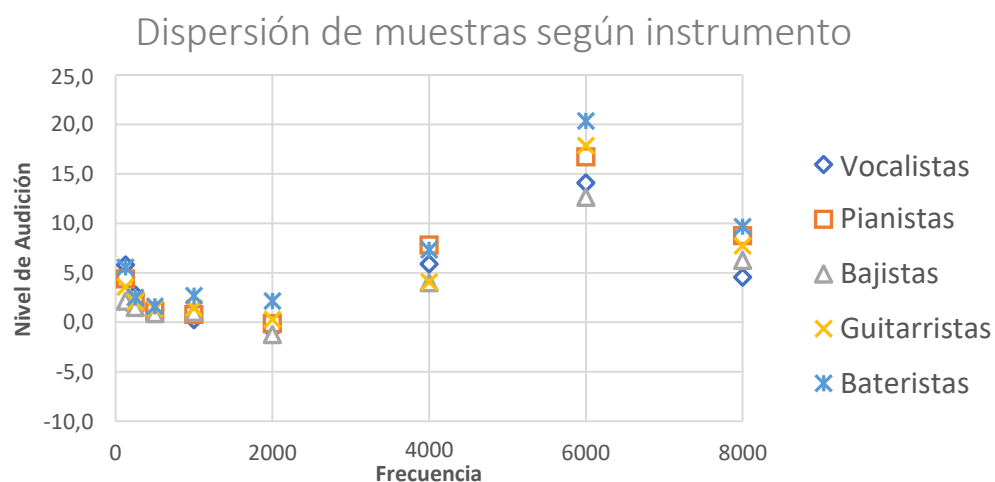


Figura 102. Dispersión de las muestras según el instrumento.

Existe una mayor desviación en la frecuencia de 6 KHz, en todos los instrumentos, seguida de 8 y 4 Khz respectivamente.

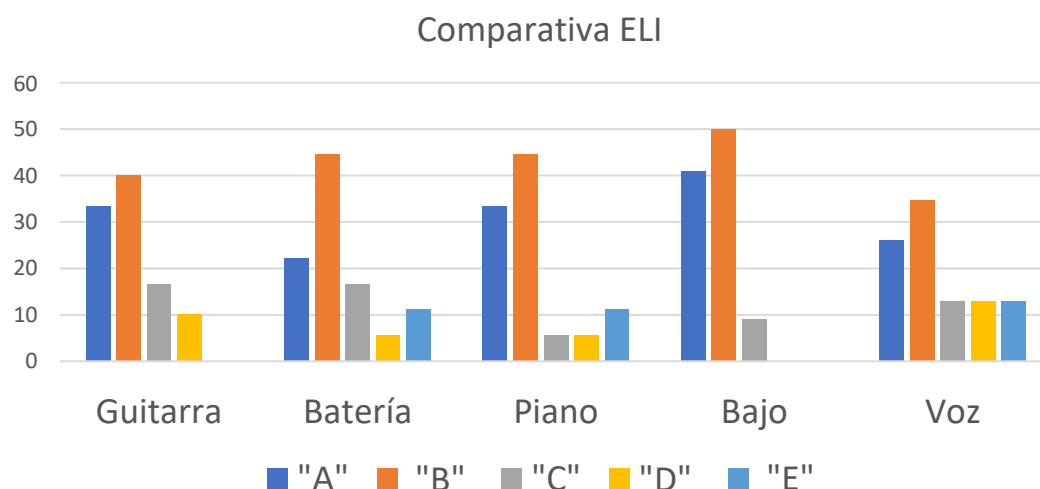


Figura 103. Comparativa del Índice de pérdida auditiva temprana, según el instrumento.

El anterior gráfico muestra el porcentaje de predisposición a desarrollar una sordera profesional, de acuerdo al instrumento de interpretación. Mostrando así que los vocalistas tienen una clasificación mayor en el grado E, seguida por bajistas, bateristas, guitarristas y pianistas. Por otro lado, los guitarristas son los que mayor grado D presentan, seguidos muy de cerca por bateristas.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

El costo dependerá del valor que cobre el operador del audiómetro, así como el valor por hora que cobre el ingeniero que analice los datos mediante fórmulas estadísticas. Para ambos se fijó un valor de 10 y 15 dólares respectivamente por hora. Por otro lado, los audiómetros son equipos costosos variando desde \$ 500 hasta \$8000 dólares, dependiendo el tipo de audiómetro. Para este caso se fijó un valor de \$ 2500, tomando en cuenta e incluyendo el valor de los audífonos usados en \$ 680. La capacitación a un operador del audiómetro, se estimó en \$ 300 dólares, asumiendo el costo de las capacitaciones que se realizan en centros como el SECAP.

También se tomó en cuenta el valor de la cabina audiométrica, la cual cumple con los requisitos según la normativa para el ruido de fondo mínimo, en \$ 4000 y los gastos en viáticos y alimentación, que fueron fijados en \$ 300 dólares suponiendo el transporte público y el valor por comida en \$ 2,50 únicamente en el almuerzo. Por último, se tomó un valor de \$ 15 para cada sesión audiométrica con una duración de 20 a 30 minutos por paciente.

Tabla 49.

Costo total estimado del proyecto de investigación

Definición	Valor unitario	Cantidad	Observaciones	Valor total
Honorario Técnico/Operador	\$ 10,00	240	Por hora de trabajo, durante 30 días laborales (8 horas por día)	\$ 2.400,00
Honorario Ingeniero/Analista	\$ 15,00	320	Por hora de trabajo, durante 40 días laborales (8 horas por día)	\$ 4.800,00
Audiometrías	\$ 15,00	168	Total, de 168 audiometrías	\$ 2.520,00
Sonómetro Resonance R17A	\$ 2.500,00	1	Se incluyen los periféricos	\$ 2.500,00
Cabina Audiométrica	\$ 4.000,00	1	Incluye la silla	\$ 4.000,00
Impresión de Cuestionarios	\$ 0,05	180	Encuestas	\$ 9,00
Capacitación	\$ 300,00	1	Capacitación acerca de manipulación de equipos y audiología (interpretación de resultados)	\$ 300,00
				\$ 16.529,00

El costo total del proyecto de investigación se estableció en \$ 16,529,00

5.1 Análisis y amortización de un proyecto similar a 200 pacientes.

Tabla 50.

Número de horas invertidas para cada acción.

Definición	Total, de horas	Observaciones
Audiometrías	100	Tomando en cuenta a una fábrica de 200 empleados con exposición al ruido laboral y con una duración de 20 minutos por audiometría
Tabulación de datos	50	Recolección de información y antecedentes
Análisis de resultados	50	Análisis de los desplazamientos de umbral auditivo
Desarrollo escrito	120	Desarrollo escrito de los informes de cada paciente
TOTAL, DE HORAS DEL PROYECTO	320	

Tabla 51.

Valor total según las horas invertidas para el proyecto de investigación.

Definición	Valor unitario	Cantidad (\$)
Honorario Técnico/Operador	10	1000
Honorario Ingeniero/Analista	15	3300
	Valor total	4300

Se establece que un proyecto de similares características, tomando en cuenta que ya se tienen todas las herramientas incluidas (audiómetro, cabina insonorizada y personal); está valorado en \$ 4300 para un total de 200 pacientes de una fábrica con Hipoacusia provocada por exposición al ruido laboral, incluyendo un informe general e individual de investigación con las causas.

6. PROYECCIONES

El presente estudio, llevado a cabo en músicos de la ciudad de Quito, es de vital importancia, tanto para estudiantes y profesores con varios años de práctica, como para personas que comiencen a interpretar un instrumento de manera profesional.

Los resultados, podrían ser transmitidos a los estudiantes de la Escuela de Música de la UDLA, para concienciar a los músicos sobre el daño auditivo inducido por la música a altos niveles de presión sonora, similar a la sordera profesional industrial y sin protección auditiva;

La investigación será también de gran utilidad, para desarrollar un historial clínico auditivo de la evolución y desplazamiento del umbral auditivo en los alumnos a través de los años, desde que entran a estudiar hasta su finalización, aprovechando las herramientas y materiales que tiene la institución y logrando, además, una capacitación sobre audiología a los futuros alumnos de Ingeniería de Sonido y Acústica.

La inclusión de la Audiología, sea de manera optativa o como materia permanente en la malla académica de la carrera de Ingeniería de Sonido y Acústica de la UDLA, tendría una gran importancia académica ya que dicha ciencia es bastante amplia y únicamente se toca de manera superficial en muy pocas materias. Por otra parte, todo estudiante graduado de la carrera, debería estar capacitado para usar el audiómetro, así como interpretar sus resultados y aplicar los distintos métodos de evaluación auditiva, ya que sería de gran utilidad en el campo de la salud ocupacional y el análisis de personas con una larga exposición al ruido industrial laboral.

Por último, la concienciación acerca del uso de protectores auditivos, no sólo debe llevarse a cabo en la UDLA y en sus músicos, sino también en todos los centros de educación musical a nivel nacional.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Un total de 148 audiometrías fueron realizadas a músicos con distintos instrumentos de interpretación y de acuerdo a los resultados, se concluye lo siguiente:

El 25% de los músicos confirma poseer Tinnitus recurrente o permanente. Así como un 2%, afirma tener Hiperacusia.

Los casos extremos de pérdida y desplazamiento del umbral auditivo por causas externas a la música, fueron excluidos de la estadística.

Los dos tercios de la población de músicos, considera que su audición se ha visto afectada y que los ensayos y conciertos son un lugar ruidoso.

Entre los factores que producen pérdida auditiva, los años de interpretación musical, afectan específicamente a la frecuencia de 6 KHz, en comparación al resto.

El 43% de los músicos, usa protección auditiva y está consciente del daño que provoca ensayar y dar conciertos a altos niveles de presión sonora.

El 98% de los músicos, estaría dispuesto a usar protección auditiva.

Muy pocos músicos, presentan una discapacidad auditiva (menos del 1%) y el 99% restante, no presenta inconvenientes en frecuencias conversacionales según la clasificación SAL.

Únicamente 2 pacientes, presentan Hipoacusia Moderada y Severa, mientras que el resto posee una Hipoacusia normal y de este conjunto un 79% posee una discapacidad menor al 1% según el Test de A.M.A.

Las frecuencias más afectadas en los músicos son las altas: 6 KHz, 4 Khz y 8 KHz, en orden de daño, mientras que el resto de las frecuencias están muy poco comprometidas, por ende, los resultados A.M.A y SAL indican una excelente salud auditiva en los pacientes, ya que estos test únicamente toman en cuenta las frecuencias medias o conversacionales (500 a 2000 Hz).

El 5% de los músicos encuestados, presenta una sospecha de sordera, mientras que el 8% posee ya un claro indicio de desarrollarla en el futuro, según la clasificación ELI.

La afectación del sistema auditivo en los músicos es bastante similar a la sordera profesional inducida por maquinaria industrial, pero con la diferencia de que el mayor daño o pico en el nivel auditivo es producido en 6 KHz, a diferencia de los 4 KHz en la sordera profesional.

El nivel auditivo de los músicos es considerablemente mayor (peor) que el umbral auditivo de los pacientes no músicos, ontológicamente normales y menores a 30 años de la norma ISO 7029, así como del grupo de control de no músicos, independientemente del instrumento de interpretación.

Los años de práctica en el instrumento musical influyen en el desplazamiento negativo del umbral auditivo, mucho más que el desplazamiento normal por Presbiacusia.

El género musical de Metal y Hardcore, en comparación con otros géneros, presenta un mayor desplazamiento del umbral auditivo, sobre todo en frecuencias agudas (6 KHz y 8 KHz) y bajas (125 y 250 Hz), en guitarristas.

El género musical de Blues y Jazz, presenta un menor desplazamiento del umbral auditivo en comparación con el resto de género, siendo considerablemente más bajo (mejor) en frecuencias graves y medias (hasta 2 KHz).

2 KHz, es la frecuencia con mejor audición promedio dentro de los umbrales auditivos en todos los instrumentos musicales, en comparación con el resto de frecuencias, a excepción de la batería.

Según el daño por fases de la pérdida auditiva profesional, la gran mayoría de los músicos, presenta una FASE I, siendo los bateristas los que presentan un mayor grado de pérdida auditiva en la frecuencia de 6 KHz, seguida de los guitarristas, pianistas, vocalistas y bajistas. Esto demuestra que entrarán en la siguiente fase a una temprana edad, viéndose comprometidas las frecuencias conversacionales en un futuro, si es que no se usa protección auditiva.

Según el Índice de pérdida auditiva temprana, en promedio, los vocalistas tienen una clasificación mayor, ubicada en el grado E (indicio de sordera), seguido por bateristas y pianistas. Por otro lado, los guitarristas y los vocalistas son los que mayor grado D (sospecha de o inicio de sordera) presentan, seguidos de cerca por bateristas, por lo tanto, tendrán una mayor probabilidad de adquirir sordera profesional.

El instrumento con mayor desplazamiento en el umbral auditivo, dentro de sus intérpretes, es la batería, seguida por la guitarra, mientras que el que menor desplazamiento del umbral auditivo que posee dentro de sus intérpretes, es el bajo eléctrico.

A pesar de no tener una afectación en frecuencias medias, se concluye que, debido al daño provocado en frecuencias altas, con una pendiente máxima en 6 KHz, los músicos tenderán a perder su audición a temprana edad en comparación con el resto de la población, por lo que no está de más enfatizar la precaución que deben llevar a cabo si no desean una mayor afectación en el sistema auditivo, comenzando por el hecho de que la mayor parte del daño es irreversible.

En cuanto al instrumento de interpretación, se separó según el mayor tiempo de práctica y años de ensayo de dicho instrumento. Hay músicos que tocan varios instrumentos e interpretan algunos géneros musicales.

Los resultados no son 100% certeros, debido a que, en un principio, el número de muestra con el que se llegó fue del 95% de índice de confianza y por otro lado de que las audiometrías no son más que un método subjetivo y de aproximación a la realidad. De igual forma, factores como el estrés, el agotamiento, entre otros, pueden afectar a las mediciones.

Por último, es complicado discernir la información estadística en cuanto al tiempo exacto de interpretación de instrumentos, horas de concierto, etc., debido a que la encuesta es de carácter subjetivo, de igual forma que obtener todos los antecedentes posibles sobre las actividades extracurriculares que realicen los músicos y que afecten su audición.

7.2. Recomendaciones

Es difícil establecer con precisión el desplazamiento del umbral auditivo según el instrumento y los antecedentes de cada paciente, para así agruparlos según sus variables en común. No existe un método guía constituido por algún comité de regulación o normalización, para calcular el umbral auditivo en pacientes con antecedentes de afectación auditiva, siendo estos, parte y consecuencia directa de sus labores diarias. En otras palabras, el padecimiento de tinnitus recurrente o permanente es de gran prevalencia en músicos, por lo que no pueden ser descartados del análisis estadístico.

El desplazamiento del umbral auditivo según la normativa ISO 7029, únicamente toma en cuenta a sujetos de prueba ontológicamente normales y de entre 20 a 70 años, siendo además estudios basados en trabajos de la National Physical Laboratory de hace más de 50 años, con elementos matemáticos complicados de manipular y analizar, siendo también abstractos y de difícil interpretación para profesionales ajenos a la ingeniería como médicos y audiólogos.

Es recomendable desarrollar una nueva normativa de los umbrales auditivos con terminología y formatos más amigables, con el fin de que cualquier usuario interesado en el tema, pueda hacer uso de la misma, por ejemplo, accediendo a una tabla que permita consultar los valores requeridos en el instante.

Es necesario tomar en cuenta que, en los últimos 50 años, la población ha experimentado el auge de una globalización e industrialización a nivel mundial, por ende, existe una mayor exposición al ruido y una gran probabilidad de que el umbral auditivo de las personas haya aumentado (empeorado) en las ciudades con mayor crecimiento demográfico. Por esta razón sería recomendable que existan varias normativas basadas en los factores que afecten a cada una de las ciudades y los antecedentes de los habitantes.

No existe documentación oficial acerca del promedio de los umbrales auditivos dentro de la población ecuatoriana, con y sin exposición al ruido laboral. Por lo tanto, es importante desarrollar una investigación oficial que cubra a todos los grupos definidos por su profesión, incluyendo a músicos.

Incluir en futuras investigaciones a un mayor número de músicos dedicados a otros instrumentos y de un mayor rango de edad, contribuiría de manera favorable a la obtención de resultados más amplios y concretos; de igual forma la inclusión de frecuencias agudas extendidas (9000 – 20000 Hz), permitiría la detección temprana de patologías futuras y una mayor posibilidad de descubrir el desarrollo del desplazamiento del umbral a través del tiempo. Cabe recalcar que usualmente, las frecuencias agudas, son las primeras en presentar un daño.

La mayoría de las prótesis auditivas, solo cubre frecuencias de hasta máximo 4000 Hz, por lo que muchos de los músicos no se beneficiarían del uso de las mismas, siendo una sugerencia, que las empresas dedicadas a la fabricación de dichos dispositivos, ofrezcan prótesis con mayor cobertura frecuencial.

Se recomienda una futura investigación de un gran número de músicos para entender los efectos de la pérdida auditiva de las horas tocadas versus los años tocando un instrumento musical ya que ambos factores pueden no estar del todo correlacionados y el umbral auditivo resultante debido a las horas de práctica puede ser resultado de una fatiga auditiva temporal.

Para futuras investigaciones, un previo lavado del canal auditivo, contribuiría a resultados más concretos. El uso de un otoscopio por parte de un profesional capacitado, permitiría determinar si el participante presenta o no cerumen, para informarle de que existe una obstrucción de su canal auditivo y que se debe proceder con una limpieza y posteriormente realizar la audiometría.

Por último, hacer uso de diferentes métodos de medición de la capacidad auditiva, como audiometría ósea, timpanometría y emisiones otoacústicas, aumentaría la posibilidad de detectar con exactitud el estado auditivo de cada paciente, identificando el daño y su ubicación de forma específica. Cabe recalcar que no existe ningún documento oficial que incluya este tipo de métodos mencionados, por lo que se debería implementar tablas con los resultados de los umbrales de audición tanto por vía aérea como por vía ósea, incluyendo también frecuencias de 8000 Hz en adelante.

REFERENCIAS

- Andersson, G., Lindvall, N., Hursti, T., Carlbring, P., & Andersson, G. (2002). Hypersensitivity to sound (hyperacusis): a prevalence study conducted via the internet and post: Hipersensibilidad al sonido (hiperacusia): un estudio de prevalencia realizado por internet Recuperado el 2 de Junio de 2018 de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/14992027.2012.743043>
- Audiómetro. (2017). Recuperado el 4 de Junio del 2018, de <https://materialmedico.org/audiometro/>
- Babisch, W., & Ising, H. (1989). Los efectos que produce en la capacidad auditiva la música en las discotecas.
- Ballou, G. (2015). *Handbook for sound engineers*. Estados Unidos: Focal Press.
- Barbedo, J. G. A., & Lopes, A. (2008). Automatic musical genre classification using a flexible approach. *Journal of the Audio Engineering Society*, recuperado de <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=14400>
- Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D. H., & Team, W. H. O. O. and E. H. (1999). Guidelines for community noise. Recuperado el 5 de Junio de 2018 de <http://www.who.int/iris/handle/10665/66217>.
- Ballou, G. (2015). *Handbook for sound engineers*. Focal Press.
- Cabaní, F. T. (2005). Efectos del ruido sobre la salud. *Recuperado el 5 de Junio de 2018 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1109>*
- Chacín-Almarza, B., Corzo-Alvarez, G., Rojas-González, L., Rodríguez-Chacín, E., & Corzo-Ríos, G. (2002). Estrés organizacional y exposición a ruido. Recuperado el 5 de Junio de 2018 de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?id=S0535-51332002000400006&script=sci_arttext&tlng=en
- Chavolla Magaña, R. A. (2013). Presbiacusia. México : Aten Fam
- Chen, Y., Li, X., Xu, Z., Li, Z., Zhang, P., He, Y., ... Qiu, J. (2011). Ear diseases among secondary school students in Xi'an, China: The role of portable audio device use, insomnia and academic stress. *BMC Public Health*. Recuperado el 5 de Junio de 2018 de <https://doi.org/10.1186/1471-2458-11-445>.

Crocker, M. J. (1998). *Handbook of acoustics*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.

Cuba. © 1999 - 2018, O. G. T. | E. de O. | R. de, Infomed, Médicas, C. N. de I. de C., & Pública, M. de S. (s.f.). Otorrinolaringología » Hipoacusia inducida por ruido. Recuperado el 5 de Junio de 2018 de <http://articulos.sld.cu/otorrino/?p=322>

Cursos de Sonido - CFP24: Rango de frecuencias de instrumentos musicales. (2015). Recuperado el 21 de Junio del 2018, de <http://audio-cfp.blogspot.com/2015/04/rango-de-frecuencias-de-instrumentos.html>

Dean, M. L. R. (1981). Department of the Army Pamphlet. *The Army Lawyer*.

del Carmen Martínez, M. (1995). Efectos del ruido por exposición laboral. *Escuela de Medicina José M^a Vargas, UCV, Caracas, Venezuela*.

Dib, R. P. E., Silva, E. M., Morais, J. F., & Trevisani, V. F. (2008). *Prevalence of high frequency hearing loss consistent with noise exposure among people working with sound systems and general population in Brazil: A cross-sectional study*. Recuperado el 5 de Junio de 2018 de <https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2458-8-151>

Drennan, W. (2010). Hearing Loss in Musicians: Prevention and Management. *International Journal of Audiology*. Recuperado el 5 de Junio de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/14992020903433914>

Elowsson, A., & Friberg, A. (2017, May). Long-term Average Spectrum in Popular Music and its Relation to the Level of the Percussion. In *Audio Engineering Society Convention 142*. Audio Engineering Society.

Enmascaramiento ~ Audiología didáctica para estudiantes. (s.f.). Recuperado el 3 de Junio de 2018, de <http://audiologiaacademica.blogspot.com/2014/12/enmascaramiento.html>

Estudio de la diploacusia. (2013). Recuperado el 3 de Junio de 2018 de <http://www.centroauditivo-valencia.es/2013/10/30/estudio-de-la-diploacusia/>

Everest, F. A. (2015). *Master handbook of acoustics*. Estados Unidos: McGraw-Hill

- Fant, G. (2004). *Descriptive analysis of the acoustic aspects of speech*. In *Speech acoustics and phonetics*: Recuperado el 5 de Junio de 2018 de <https://ci.nii.ac.jp/naid/10011512586/>
- Fligor, Brian J., and L. Clarke Cox. 2004. "Output Levels of Commercially Available Portable Compact Disc Players and the Potential Risk to Hearing." Recuperado el 5 de Junio de 2017 de http://journals.lww.com/earhearing/Abstract/2004/12000/Output_Levels_of_Commercially_Available_Portable.1.aspx
- Fonolocura (2015). Exámenes Auditivos. Recuperado el 2 de Junio del 2018, de: <https://fonolocura.wordpress.com/>
- Halevi K, Dana N., Yaakobi E, & Putter-Katz H. (2015). "Exposure to Music and Noise-Induced Hearing Loss (NIHL) among Professional Pop/rock/jazz Musicians." *Noise & Health* Recuperado el 2 de Junio de 2018 de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4918652/>
- Jansen, M., Helleman, W., Dreschler, A., & Laats, M. de. (2009). Noise induced hearing loss and other hearing complaints among musicians of symphony orchestras. Recuperado el 5 de Junio de 2018 de <https://doi.org/10.1007/s00420-008-0317-1>
- Katz, J. (2014). *Handbook of clinical audiology* (Vol. 428). Estados Unidos: Williams & Wilkins.
- Kostek, B. (2005). *Perception-based data processing in acoustics: applications to music information retrieval and psychophysiology of hearing* (Vol. 3). Estados Unidos: Springer Science & Business Media.
- Kuttruff, H. (2006). *Acoustics: an introduction*. Estados Unidos: CRC Press.
- Llorente, J., Álvarez, M., & Nuñez, F. (2011). *Otorrinolaringología: Manual clínico*. España: Editorial Médica Panamericana S.A.
- Lloyd, L. L., & Kaplan, H. (1978). *Audiometric interpretation: a manual of basic audiometry* (Vol. 1). Baltimore: University Park Press.
- Lucas, A. O. (2012). Acúfenos Otin Lucas: estadísticas y acúfenos. Recuperado el 2 de Junio de <https://otinylucas.blogspot.com/2012/11/estadisticas-sobre-acufenos.html>
- Marco, J. L. M., & Gómez, M. D. S. (s.f). NTP 285: Audiometría tonal liminar: vía ósea y enmascaramiento.

- Mercado M, V., Burgos S, R., & Muñoz V, C. (2007). Ototoxicidad por medicamentos. *Revista de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza*. Recuperado el 5 de Junio de 2018 de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-48162007000200013&script=sci_arttext&tlng=en
- Merino, F. O., Zapata, F. O., & Kulka, A. F. (2006). Ruido laboral y su impacto en salud. *Ciencia & Trabajo*, 8(20), 47-51.
- Mijic, M., Masovic, D., Sumarac Pavlovic, D., & Petrovic, M. (2009, May). Statistical properties of music signals. In *Audio Engineering Society Convention 126*. Audio Engineering Society.
- Mixing To A Pink Noise Reference |. (s.f.). Recuperado el 1 de Junio del 2018 de <https://www.soundonsound.com/techniques/mixing-pink-noise-reference>
- Miyara, F. (1999). Control de ruido. *Jornadas Internacionales Multidisciplinarias sobre Violencia Acústica*.
- Moore, B. C. (2012). *An introduction to the psychology of hearing*. Estados Unidos: Brill.
- Morales G, C., Quiroz Z, G., C, M., Manuel, J., & Tapia M, C. (2009). Hallazgos otoneurológicos en pacientes con tinnitus y audiometría tonal clásica normal. *Revista de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza* Recuperado el 5 de Junio de 2018 <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php>
- Nadol Jr, J. B. (1993). Hearing loss. *New England Journal of Medicine*, 329(15), 1092-1102.
- Newnham, L. (2015,). *The 10 worst jobs for your ears*. Recuperado el diciembre 7 de 2017 de <http://www.health24.com/Medical/Hearing-management/Noise/The-10-worst-jobs-for-your-ears-20150821>
- OMS | 1100 millones de personas corren el riesgo de sufrir pérdida de audición. (s.f.). Recuperado el 7 de diciembre de 2017, de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/ear-care/es/>
- Palacios-Pérez, A., Muñoz-Caicedo, A., Macías, E., López, G., & Ossa, Y. (2010). Sensibilidad y especificidad de las escalas ELI, SAL, LARSEN MODIFICADO, KLOCKHOFF y NIOSH para la calificación de la hipoacusia profesional en Popayán, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud Universidad del Cauca*. Recuperado el 1 de Junio de 2018 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5816936>

- Pawlaczyk-Łuszczynska, M., Dudarewicz, A., Zamojska, M., & Sliwińska-Kowalska, M. (2010). *[Risk assessment of hearing loss in orchestral musicians]*.
- Pride A, Jodee A., and Cunningham R. 2005. "Early Evidence of Cochlear Damage in a Large Sample of Percussionists." *Medical Problems of Performing Artists* Recuperado el 5 de Junio de 2018 de <http://go.galegroup.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=08851158&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA173230637&sid=googleScholar&linkaccess=abs>(November 15, 2017).
- Quilis, A. (1981). *Fonética acústica de la lengua española*. Madrid: Gredos
- Rango dinámico - musiki. (s.f.). Recuperado el 3 de Junio del 2018 de http://musiki.org.ar/Rango_din%C3%A1mico
- Roederer, J. G. (2008). *The physics and psychophysics of music: an introduction*. Springer Science & Business Media.
- Saunders, G. H., Frederick, M. T., Silverman, S. C., Nielsen, C., & Laplante-Lévesque, A. (2017). Development and Pilot Evaluation of a Novel Theory-Based Intervention to Encourage Help-Seeking for Adult Hearing Loss. Recuperado el 6 de Junio de 2018 de <https://www.ingentaconnect.com/contentone/aaa/jaaa/2017/00000028/00000010/art00006>
- Schmidt, J., Herzog, D., Scharenborg, O., & Janse, E. (2016). Do Hearing Aids Improve Affect Perception? In *Physiology, Psychoacoustics and Cognition in Normal and Impaired Hearing*. Recuperado el 5 de Junio de 2018 de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-25474-6_6
- Schmidt, J., Verschuure, J., & Brocaar, M. P. (1994). Hearing loss in students at a conservatory. *Audiology: Official Organ of the International Society of Audiology*, 33(4), 185–194.
- Seguridad y Salud en el Trabajo. (s.f.). Recuperado el 7 de Diciembre de 2017 de <http://www.trabajo.gob.ec/seguridad-y-salud-en-el-trabajo/>
- Sliwinska-Kowalska, M., & Davis, A. (2012). Noise-induced hearing loss. *Noise and Health*. Recuperado el 7 de Diciembre de 2017 de <http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2012;volume=14;issue=61;spage=274;epage=280;aulast=Sliwinska-Kowalska>

- Sordera súbita. (2015). Recuperado el 3 de Junio de 2018 de <https://www.nidcd.nih.gov/es/espanol/sordera-subita>
- Sound, B. K. (2000). Vibration Measurement A. S," Ruido Ambiental.: Efectos del ruido en la audición. (s.f.). Recuperado el 2 de Junio del 2018 de [http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/\(4\)%20efectos%20del%20ruido/efectos%20del%20ruido%20en%20la%20audicion.htm](http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/(4)%20efectos%20del%20ruido/efectos%20del%20ruido%20en%20la%20audicion.htm)
- Starr, L., Waterman, C., (2007) American Popular Music. Estados Unidos: Oxford University Press.
- Stelmachowicz, P. G., Beauchaine, K. A., Kalberer, A., Kelly, W. J., & Jesteadt, W. (1989). High-frequency audiometry: Test reliability and procedural considerations. Recuperado el 3 de Junio de 2018 de <https://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/1.397559>
- Størmer, Lein C, Laukli E, Høydal E, & Stenklev C. 2015. "*Hearing Loss and Tinnitus in Rock Musicians: A Norwegian Survey.*" *Noise & Health* Recuperado el 15 de Noviembre de 2017 de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4900477/>
- Sułkowski, W., Owczarek, K., & Olszewski, J. (2017). Contemporary noise-induced hearing loss (NIHL) prevention. Recuperado el 15 de Noviembre de 2017 de <https://europepmc.org/abstract/med/29116045>
- Tan, C., Lecluyse, W., McFerran, D., & Meddis, R. (2013). Tinnitus and Patterns of Hearing Loss. Recuperado el 15 de Noviembre de 2017 de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10162-013-0371-6>
- Test de SISI. Estudio del Reclutamiento. (2014). Recuperado el 5 de Junio de 2018 de <http://www.centroauditivo-valencia.es/2014/03/25/test-de-sisi-estudio-del-reclutamiento/>
- Tipos de auriculares: diferencias y uso | Zococity Blog. (s.f.). Recuperado el 20 de Mayo del 2018 de <https://zococity.es/blog/tipos-de-auriculares-diferencias-y-uso/>
- Von Békésy, G., & Wever, E. G. (1960). *Experiments in hearing*(Vol. 8). New York: McGraw-Hill.
- Yasin, I., Drga, V., & Plack, C. J. (2014). Effect of Human Auditory Efferent Feedback on Cochlear Gain and Compression. *The Journal of Neuroscience*. Recuperado el 2 de Junio de 2018 de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4228134/>

ANEXOS

ANEXO 1. Especificaciones técnicas del audiómetro

Especificaciones Técnicas del audiómetro Resonance R17A

Dimensiones y Peso:

- Largo x Ancho x Alto: 180 x 135 x 23-41 mm
- Peso Neto: 450 gramos

Tipos de Pruebas:

- Audiometría Tonal
- Audiometría Vocal (mediante palabras ya pregrabadas)

Transferencia a la PC: Bluetooth 2.1

Puertos de conexión:

- USB tipo A para inserción de una memoria USB para actualización de software
- Mini USB hembra, para la conexión del pulsador.

Programa de sincronización con PC: Resonance MDS Management Data Suite

Pantalla:

- Pantalla TFT de 7" con panel táctil
- Resolución rectangular de 800 x 480 pixeles, con una densidad de 133 pixeles por pulgada
- 262.000 colores

Componentes del Sistema:

- Sistema Operativo Microsoft Windows Embedded Compact
- Procesador Nvidia Dual Core TEGRA 2 de 1 GHz

Rango:

Rango frecuencial de 0.125 KHz a 12 KHz con audífonos HDA 280 y hasta 8 KHz con audífonos DD45/TDH39 por vía aérea.

Tabla 52.

Rango de intensidad de -10 dB hasta 105 (110 dB >1% THD) dB HL por vía aérea.

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000	6000	8000
Intensidad	65	80	105	105	105	105	100	90

Precisión:

- Frecuencia: < 0.5%
- Distorsión: < 1%
- Crosstalk: >70 dB
- Variación de pasos de 1, 2 y 5 dB

- Atenuador con linealidad de 1 dB por cada paso de 5 dB.

Tipos de señal:

- Tono Puro: Onda senoidal de 125 Hz a 12.5 KHz
- Variación: +/- 5%
- Ruido de banda estrecha: Filtro de 24 dB/oct
- Ruido de vocalización: Filtro de 1 KHz 12 dB/oct
- Ruido Blanco

Transductores de salida:

- 2 salidas independientes de 3.5 mm a 10 ohmios

Conforme a las regulaciones:

- MDD 93/42/EEC
- IEC 60601-1
- IEC 60601-1-2
- IEC 60645-1
- IEC 60645-2
- ANSI S3.6: Tipo 4
- RoHS II

Construido y diseñado conforme a las regulaciones:

- ISO 13485
- ISO 9001
- Aprobado por FDA y Medical C

ANEXO 2. Especificaciones Técnicas de los Audífonos Utilizados “DD45”

Son auriculares supraurales los cuales cumplen con la normativa ISO 389-1 y la ANSI S3.6



Figura 104. Audífonos Supraaurales DD45

Aplicación: Uso Profesional

Tipo: Diagnóstico Clínico

Compatibilidad: Audiómetros de marcas como Resonance, Interacoustics, MAICO y otros.

Distancia del cable: 5 metros

Color azul: transductor oído izquierdo

Color rojo: transductor oído derecho

* Algunas partes pueden ser remplazadas

Respuesta de frecuencia:

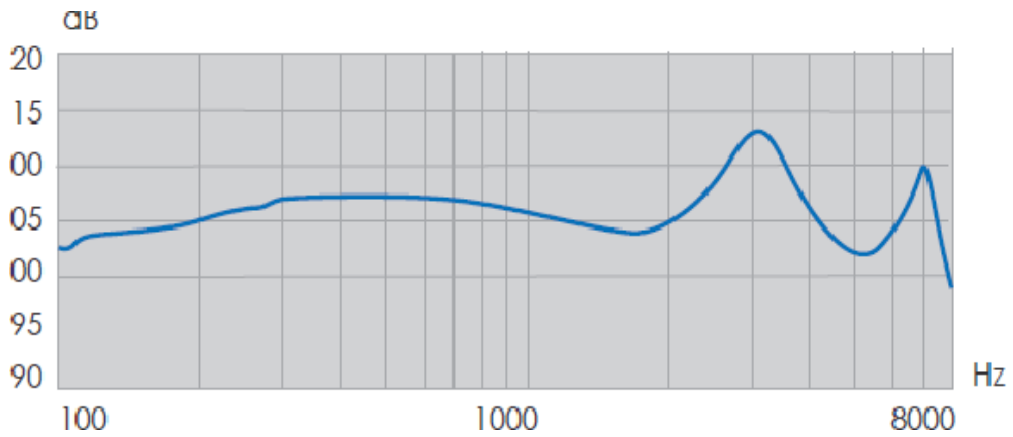


Figura 105. Respuesta en un oído artificial (Dummie Head), según la norma IEC60318-1

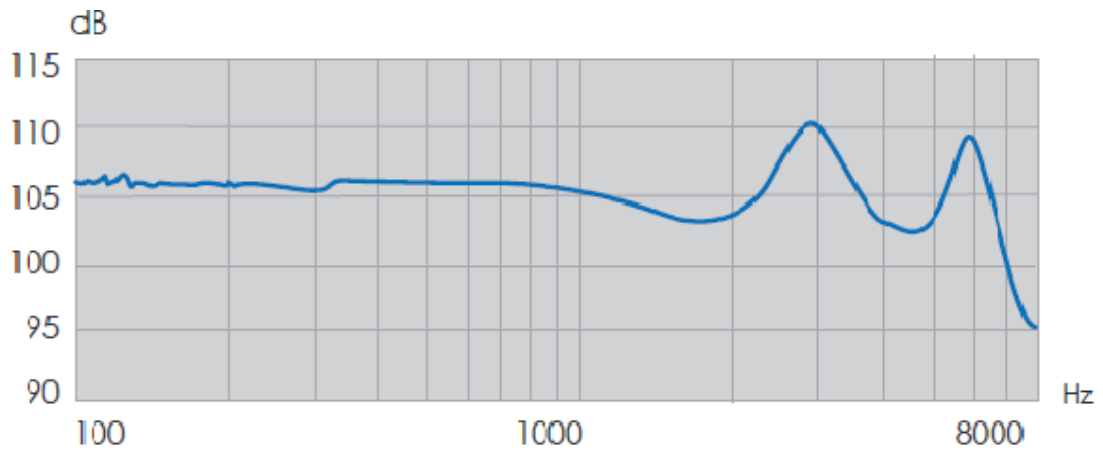


Gráfico 2: Acoplador Acústico

Figura 106. Respuesta medida en un acoplador acústico, según la norma IEC60318-1

Tabla 53.

Características auriculares TDH 39

Receptor Dinámico de 10 ohm	
Normativa:	ANSI S3.6-2010; ISO 389-1 1998
Tipo de transductor:	Bobina móvil dinámica, para audiometría
Impedancia Nominal:	10 ohm
Respuesta de Frecuencia:	100 Hz - 8 kHz
Linealidad:	Linealidad hasta 500 mW
Sensibilidad:	Usualmente 106.7 dB NPS medido con ref. salida a 20 µPa, 1 mW , f=1 kHz
Distorsión Armónica:	> 1% a 120 db NPS, f=kHz
Cable Conector:	2 terminales con agujeros de 4 mm y tornillos de 2 mm
Peso Total:	59 gramos (2 oz)
Ambiental:	<ul style="list-style-type: none"> • RoHS compatible • Lead y libre de níquel • Bio compatible

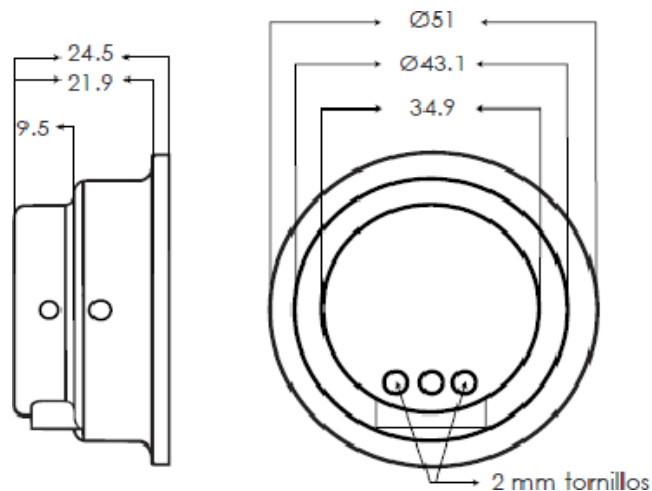


Figura 107. Dimensiones del auricular (mm)

Tabla 54.

Umbral equivalente de niveles de presión sonora de referencia "RETSPL"

Frecuencia (Hz)	Oído Artificial según la norma IEC 60318-1 dB NPS	Acoplador Acústico según la norma IEC 60318-3/NBS 9A dB NPS
125	45.0	47.5
160	38.5	40.51
200	32.5	33.51
250	27.0	27.0
315	22.0	22.51
400	17.0	17.51
500	13.5	13.0
630	10.5	9.01
750	9.0	6.5
800	8.5	6.51
1000	7.5	6.0
1250	7.5	7.01
1500	7.5	8.0
1600	8.0	8.01
2000	9.0	8.0
2500	10.5	8.01
3000	11.5	8.0
3150	11.5	8.01
4000	12.0	9.0
5000	11.0	13.01
6000	16.0	20.5
6300	21.0	19.01
8000	15.5	12.0

Tomado de: Manual DD45

ANEXO 3. Cuestionario empleado para la recolección de información y antecedentes de cada paciente

Nombre:		Semestre:		Edad:		Sexo:	M	F
1.	¿Alguna vez ha tenido problemas auditivos (¿por ejemplo, infecciones, ruido en los oídos, drenaje, etc.?)							
Sí	No	En caso afirmativo, especificar:						
2.	¿Alguna vez se ha sometido a una operación en el oído?							
Sí	No	En caso afirmativo, especificar:						
3.	¿Presenta o presentaba algún miembro de su familia problemas auditivos de manera congénita?							
Sí	No	Desconoce	En caso afirmativo, especificar:					
4.	¿Se ha sometido con anterioridad a un examen auditivo?							
Sí	No	En caso afirmativo, cuándo y dónde:						
5.	¿Ha trabajado durante años en un lugar muy ruidoso, es decir, donde era difícil comunicarse oralmente?							
Sí	No	En caso afirmativo, especificar:						
6.	¿Vive, estudia o trabaja actualmente en algún lugar ruidoso que afecte su labor o su descanso?							
Sí	No	En caso afirmativo, especificar:						
7.	¿Usa protección Auditiva? (en conciertos, trabajo, ensayos, otros...)							
Sí	No	En caso afirmativo, especificar:						
8.	¿Asiste a conciertos de música o frecuenta discotecas?							
Sí	No	De ser sí, Especifique cuantas veces por año:						
9.	¿Toca algún instrumento de música? (Incluye Canto)							
Sí	No	En caso afirmativo, especificar:						
10.	¿Cuántas horas practica/toca por semana?							
11.	¿Qué tiempo lleva tocando el instrumento? Especificar (meses, años):							
12.	¿Qué género musical interpreta?							
13.	¿Escucha música con reproductores portátiles personales?							
Sí	No	De ser sí, especifique cuántas horas por semana:						
14.	¿Cree que su capacidad auditiva se ha visto afectada a través de los años debido a la música?							
Sí	No							
15.	¿Estaría dispuesto a usar protección auditiva en un futuro y/o cuidar su sistema auditivo?							
Sí	No							
Doy mi consentimiento para el registro de mis datos y su uso en relación a las mediciones de los umbrales de audición:								
Fecha:	Correo Electrónico:					Firma:		

ANEXO 4. Plano del laboratorio de acústica y ubicación del sonómetro.

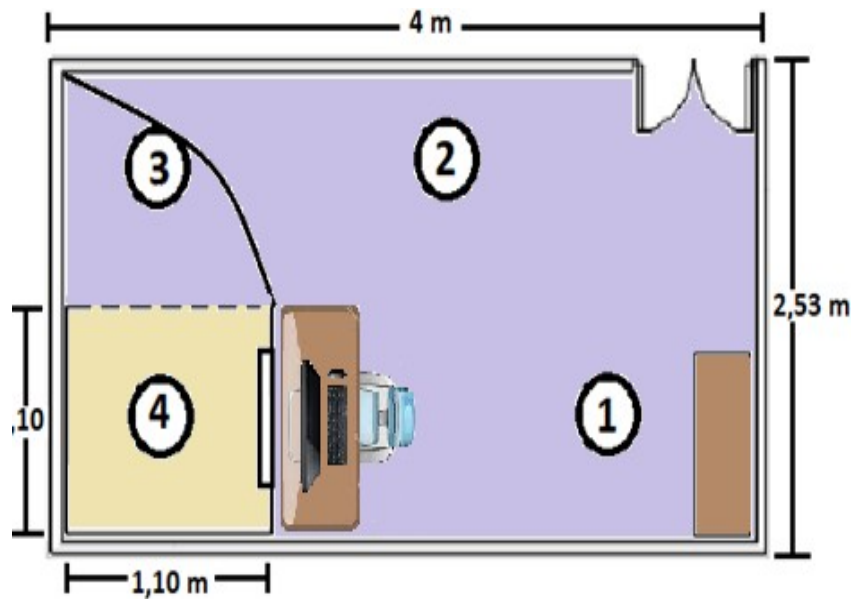


Figura 108. Medidas del laboratorio de acústica de la UDLA. El número encerrado en círculo, representa la posición del sonómetro para la realización de la medición del ruido de fondo, en total 3 posiciones en la sala y una dentro de la cabina.

ANEXO 5. Ficha Publicitaria

SONIDO Y
ACÚSTICA

udla



AUDIOMETRÍAS SIN COSTO

DETECTA A TIEMPO LA PÉRDIDA AUDITIVA

DESDE EL JUEVES 19 DE ABRIL - HASTA EL VIERNES 13 DE MAYO

HORARIOS DE ATENCIÓN

Lunes de 08h00 a 14h00

Martes a Viernes de 08h00 a 12h00 - de 13h00 a 17h00

AGENDA TU CITA

Danilo Gortaire - 099 832 4686

LUGAR: UDLA SEDE GRANADOS - LAB. DE ACÚSTICA LA1 - SUBSUELO 1

Figura 109. Modelo de afiche usado para publicitar la investigación por medio de afiches y redes sociales

