



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

ANÁLISIS DEL DETERIORO AUDITIVO EN MÚSICOS DE LA CIUDAD DE QUITO EN  
FUNCIÓN DE INSTRUMENTO INTERPRETADO Y TIEMPO DE INTERPRETACIÓN  
PARA EL GÉNERO DE ROCK

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

Profesor Guía

Ing. Héctor Ferrández Motos

Autor

David Roberto Amores García

Año

2015

### **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

MSc. Héctor Ferrández Motos  
Master en Postproducción Digital  
AA0569477

### **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”.

---

David Roberto Amores García  
C. C.172189385-5

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por haberme respaldado en las decisiones que he tomado en mi vida.

A Dios, por estar siempre cuando lo necesito.

A mi familia en general, por apoyarme en mis decisiones.

A mí mismo, por haberme permitido estudiar esta carrera.

## DEDICATORIA

A Dios, por ayudarme a tomar las mejores decisiones.

A mis padres, por ser pilar fundamental en mi desarrollo personal.

A Metallica, por ser la banda que me motivó a estudiar esta profesión.

A todos los guitarristas que han influenciado mi vida.

## RESUMEN

En el presente trabajo se busca generar una aplicación predictiva que muestre en qué situación se encuentra la audición de los músicos en función del instrumento interpretado y de los años de práctica musical, para lograr entregar una herramienta que pronostique el desplazamiento de umbral auditivo proyectado en el futuro.

Para llevar a cabo este procedimiento se realizaron ensayos audiométricos a músicos de la ciudad de Quito que tengan como género principal de interpretación a la música rock; adicionalmente se hicieron mediciones acústicas en los lugares donde los músicos realizan ensayos. De tal manera, se logró integrar, en un solo resultado, tanto los valores obtenidos en los ensayos audiométricos como los valores obtenidos en las mediciones acústicas.

Los resultados obtenidos muestran que, en general, los músicos de rock ensayan a niveles que sobrepasan lo establecido en las normas locales; además, el porcentaje de músicos que tienen conocimiento de cuidado auditivo es relativamente bajo.

## ABSTRACT

This document discusses an application that shows the situation of a musician's hearing, depending on the instrument interpreted as well as on the years of practice, in order to deliver a predictive tool on the level hearing threshold, for the years that the musician wants to know.

To carry this procedure out, audiometric tests were performed to musicians in Quito whose main genre is rock music; complementary acoustic measurements took place where musicians perform their artistic activities, to have a clear vision of what sound levels they are exposed to. This achievement integrated into a single result both values obtained from audiometric tests and values obtained in acoustic measurements.

Results show that, in general, rock musicians perform at levels that exceed the established local rules; also, the percentage of people who are knowledgeable about hearing care is relatively low.

# ÍNDICE

Introducción .....	1
1. Marco teórico .....	6
1.1. Conceptos básicos de acústica .....	6
1.1.1. Acústica .....	6
1.1.1.1. Acústica física.....	6
1.1.1.2. Acústica musical.....	6
1.1.1.3. Acústica fisiológica .....	6
1.1.1.4. Mediciones acústicas .....	7
1.1.2. Sonido .....	7
1.1.2.1. Frecuencia de sonido .....	8
1.1.2.2. Intensidad del sonido.....	8
1.1.2.3. Presión sonora .....	8
1.1.2.3.1. Decibeles.....	9
1.1.2.3.2. Nivel de presión sonora.....	9
1.1.3. Potencia acústica. ....	10
1.1.3.1. Nivel de potencia acústica.....	10
1.1.3.2. Ponderaciones en dBA.....	11
1.1.3.3. Decibeles de pérdida auditiva: dB HL.....	11
1.1.4. Amplitud .....	12
1.2. Representación gráfica del sonido .....	14
1.2.1. Gráficas audiométricas .....	15
1.2.1.1. Umbral inferior .....	15
1.2.1.2. Intensidad.....	15
1.2.1.3. Frecuencia.....	16
1.2.1.4. Zonas de las gráficas audiométricas .....	17
1.2.1.4.1. Zona conversacional .....	17
1.2.1.4.2. Zona de agudos.....	17
1.3. Ruido .....	17
1.4. Sistema auditivo .....	18
1.4.1. Oído interno.....	20
1.4.2. Oído medio.....	20

1.4.3. Oído externo.....	20
1.4.4. Área de audición.....	21
1.4.4.1. El umbral de audición.....	22
1.4.4.1.1. El desplazamiento del umbral auditivo.....	22
1.5. Ruido laboral.....	23
1.5.1. Ruido de fuente.....	23
1.5.1.1. Ruido en el ambiente laboral.....	23
1.5.1.2. Ruido de impacto.....	24
1.5.2. Factores influyentes en la lesión auditiva.....	24
1.5.2.1. Intensidad del ruido.....	24
1.5.2.2. Incidencia del ruido.....	24
1.5.2.3. Tiempo de exposición.....	25
1.5.2.4. Susceptibilidad individual..	25
1.5.2.5. Edad.....	26
1.5.2.6. Enfermedades del oído.	27
1.6 Hipoacusia.....	27
1.6.1. Hipoacusia inducida por ruido.....	28
1.6.1.1. Acúfenos.....	29
1.6.2. Hipoacusia inducida por música.....	30
1.7. Audiometrías y criterios de valoración.....	31
1.7.1. Estándares mínimos para los instrumentos de audiometría.....	33
1.7.1.1. Estándares mínimos para audífonos.....	33
1.7.2. Estándares para la cabina audiométrica.....	33
1.7.3. Control del nivel de la señal.....	34
1.7.3.1. Características de la señal de ensayo.....	34
1.7.3.2. Procedimiento de generación de tonos puros.....	34
1.7.4. Tamaño del paso de los tonos puros.....	37
1.7.5. Audiometría clásica de tonos puros.....	37
1.7.5.1. Ensayo binaural.....	38
1.8. Conceptos básicos de estadística.....	39
1.8.1. Población.....	39
1.8.2. Muestra.....	39
1.8.2.1. Técnicas de muestreo.....	40

1.8.2.2. Tamaño de la muestra.....	40
1.8.2.3. Nivel de precisión .....	41
1.8.2.4. Nivel de confianza .....	41
1.8.2.5. Media aritmética. ....	41
<b>2. Metodología.....</b>	<b>42</b>
2.1. Pregunta directriz .....	42
2.2. Variables .....	42
2.2.1. Variables independientes. ....	42
2.2.2. Variables dependientes .....	42
2.3. Orientación de la investigación .....	43
2.4. Características de la investigación.....	43
2.4.1. Bibliográfica-documental .....	43
2.4.2. De campo .....	43
2.5. Tipo de investigación .....	44
2.5.1. Asociación de variables.....	44
<b>3. Desarrollo .....</b>	<b>44</b>
3.1. Etapas de evaluación .....	44
3.1.1. Indicaciones para una evaluación audiométrica.....	44
3.1.2. Evaluación audiométrica .....	45
3.1.3. Procedimiento durante la evaluación .....	45
3.1.4. Medición del ruido en el lugar de práctica musical.....	46
3.1.4.1. Puntos importantes que se tomaron en cuenta previo a la realización de la medición de ruido .....	47
3.1.4.2. Puntos a tomar en cuenta durante la medición de ruido .....	48
3.2. Equipos para medir el ruido en el ambiente laboral.....	49
3.2.1. Instrumentación .....	49
3.2.1.1. Sonómetros convencionales .....	50
3.3. Obtención del tamaño de la muestra.....	50
3.3.1. Determinación del tamaño de la muestra .....	52
3.3.2. Valoraciones audiométricas. ....	56
3.3.2.1. Cálculo del índice ELI.....	56
<b>4. Resultados y discusión .....</b>	<b>57</b>

4.1. Encuesta de evaluación subjetiva hecha a cada músico sometido al proceso de audiometría.....	88
4.2. Medición de nivel de ruido en los lugares de ensayo .....	89
4.2.1. Selección de modo de banda y rango de medición.....	89
4.3. Tiempo y número de mediciones.....	90
4.4 Evaluación y cálculo de niveles de ruido .....	91
4.5. Cálculo de los niveles equivalentes de ruido.....	91
4.5.1. Nivel equivalente de ruido por jornada laboral .....	92
4.5.1.1. Cálculo de nivel de exposición diaria equivalente .....	92
4.6. Cálculo de tiempo máximo de exposición permitido para el NPSeq medido.....	92
4.7. Resultados de valoraciones audiométricas .....	95
4.8. Aplicación del método de evaluación ELI (Índice de Pérdida Precoz).....	96
4.9. Nivel equivalente de ruido medido .....	97
4.9.1 Cálculo de nivel equivalente continuo de ruido .....	97
4.10. Evaluación de exposición al ruido.....	98
4.10.1. Proyección de riesgo por ruido en la salud.....	100
4.10.2. Cálculo de desplazamiento del umbral auditivo en músicos de rock de la ciudad de Quito.....	101
4.11. Implementación de una aplicación predictiva de umbrales de audición para músicos de rock de la ciudad de Quito. ....	103
4.11.1. Variables de entrada .....	103
4.11.2. Variables de salida .....	104
5. Medidas de control y prevención .....	104
5.1. Medidas organizativas.....	105
5.2. Medidas técnicas.....	105
5.2.1. Control sobre la fuente de ruido .....	106
5.2.2. Control en el recinto de ensayo.....	106
5.2.3. Control sobre el receptor .....	106
5.3. Determinación de medidas de prevención y control de ruido.....	107
5.3.1. Medidas en la fuente .....	107

5.3.1.1. Compra y sustitución de nueva tecnología en instrumentos musicales.....	107
5.3.2 Medidas en el receptor.....	107
5.3.2.1. Capacitación sobre riesgos de ruido en el trabajo.....	107
5.3.2.2. Información sobre equipo de protección auditiva.....	108
5.3.3. Provisión de equipos de cuidado auditivo para músicos.....	108
5.3.3.1. Tapones auditivos para ruidos menores a 80 dBA.....	109
5.3.3.2. Orejeras antirruído para ruidos iguales o mayores a 80 dBA.....	109
5.3.3.2.1. Atenuación de ruido de tapón auditivo.....	109
5.3.4. Rotación y reducción de horas de ensayo.....	112
5.3.5. Vigilancia médica.....	113
5.3.6. Compromiso de los músicos.....	113
5.3.6.1. Plan de acción para concientizar sobre la pérdida auditiva.....	114
5.3.6.1.1. Uso libre de la aplicación predictiva de pérdida auditiva.....	114
5.3.6.1.1.1. Colocar la aplicación en la red.....	115
5.3.6.1.1.2. Operativo de información.....	115
5.3.6.1.1.3. Campañas con visitas escolares.....	118
5.4. Análisis económico.....	117
6. Conclusiones y recomendaciones.....	118
6.1. Conclusiones.....	118
6.2. Recomendaciones.....	120
Referencias.....	123
Anexos.....	126

## Introducción

En tiempos pasados se llevaban a cabo profesiones como la herrería, la calderería y actividades metalúrgicas en las que el trabajador generaba niveles altos de ruido que, repetidos por períodos prolongados de tiempo, podían generar un aceleramiento en el deterioro auditivo en las personas que realizaban dichas actividades. En consecuencia, desde tiempos remotos ya se tiene conocimiento de que algunas actividades laborales pueden ser dañinas para la salud auditiva de los seres humanos.

La audición humana es la encargada de la transmisión de eventos sónicos ocurridos en el entorno que rodea al ser humano. Dicho en otras palabras, la audición cumple con la transmisión de información sonora desde el mundo exterior hasta el cerebro humano.

El deterioro de la capacidad de poder percibir sonidos se produce generalmente por una sobreexposición a niveles altos de ruido, lo que produce el desgaste de una o de varias de las partes que conforman el oído externo, medio o interno.

Hoy por hoy, los trabajadores que realizan sus labores en la industria están expuestos a niveles altos de ruido. En su gran mayoría, los obreros ya cuentan con un cierto tipo de conocimiento de los máximos intervalos de tiempo permitidos, para no causar daños permanentes en el oído.

Por otra parte, en Ecuador, la profesión de músico no es considerada como una labor que necesite protección auditiva, aunque se lleve a cabo en muchas ocasiones en condiciones similares a las de un trabajo industrial. Generalmente, los músicos de rock son los que durante más tiempo están expuestos a niveles muy altos de ruido.

Existen estudios previos realizados a obreros de industrias, que por lo general trabajan con máquinas muy ruidosas, pero no existe evidencia de un análisis del deterioro auditivo en los músicos de la ciudad de Quito.

## Planteamiento del problema

Actualmente, en la ciudad de Quito existe un número considerable de músicos, tanto aficionados como profesionales, que llevan practicando esta actividad durante muchos años. Es lógico suponer que, como cualquier otra actividad en la que un ser humano se encuentre expuesto durante intervalos prolongados de tiempo a niveles elevados de presión sonora, esta va a generar algún tipo de deterioro en el oído humano, además de otros problemas de salud, como, por ejemplo, estrés causado por exposición al ruido.

Con base en los efectos que tiene el ruido excesivo sobre las personas, nace la necesidad de realizar un estudio acerca del estado en que se encuentra la audición de los músicos de rock de la ciudad de Quito, para poder brindar asesoramiento acerca de los cuidados que deben tener, sobre todo al momento de llevar a cabo su actividad artística. Se busca concientizar a los músicos sobre la importancia de conocer su nivel de escucha; asimismo, se desea saber si sus actividades musicales se están llevando a cabo a niveles de ruido no nocivos para su salud. La ciudad de Quito ya cuenta con normas básicas a seguir por los trabajadores en general, pero estas no son tomadas en cuenta por los músicos.

Al analizar el nivel de escucha de los músicos de rock, se espera hallar un deterioro auditivo notable en aquellos que no hayan utilizado protección auditiva y, además, lleven varios años desarrollando esta actividad. Asimismo, se espera que el deterioro de la audición sea mayor en músicos que forman parte de alguna agrupación musical, en relación a músicos únicamente aficionados; esto, debido a los niveles altos de presión sonora a los que por lo general están expuestos al momento de ensayar con su agrupación. Igualmente, es probable que el deterioro auditivo sea más evidente en personas de una edad relativamente mayor. Finalmente, se podrá corroborar si el proceso de desplazamiento del umbral de audición es más notorio en las bandas de frecuencias altas, como se menciona en varios textos sobre la salud ocupacional de los trabajadores.

Para el presente trabajo se evaluará a músicos que interpreten guitarra eléctrica, bajo eléctrico, batería acústica y voz, que tengan afinidad al género del rock y que, además, vivan en la ciudad de Quito.

Se busca poder encontrar, entre todos los músicos, parámetros en común que puedan dar una idea clara acerca de qué instrumento es el que produce mayor deterioro auditivo y en qué rango de frecuencias la persona que lo interpreta se ve afectada. Se evaluarán parámetros como el tiempo de ejecución, las horas de ensayo al día y actividades extramusicales, para descartar posibles errores en las mediciones. Se someterá al ensayo audiométrico al número de personas necesario para estimar un modelo predictivo, tomando como población a la ciudad de Quito, para finalmente sacar una muestra representativa de la población.

Una vez obtenidos los datos de los diferentes procedimientos para evaluar la condición auditiva de los músicos, se buscará establecer un modelo matemático-predictivo con el que se pueda obtener un pronóstico aproximado acerca de cómo será la salud auditiva de los músicos si siguen realizando sus actividades como las han venido haciendo hasta el momento de realizar este proyecto. Además, se darán recomendaciones de intervalos de exposición sonora a determinados niveles de ruido, y sobre cómo cuidar sus oídos para disminuir el deterioro auditivo.

En el caso exclusivo de los músicos, el oído es la herramienta de trabajo más preciada, por lo que un daño permanente en él podría significar una pérdida de ingresos y ocasionar graves problemas psicológicos o de estrés; por el contrario, si un músico tiene un claro conocimiento acerca de cómo funciona el oído humano, será consciente de cómo cuidarlo, preservarlo y evitar futuras complicaciones.

Al brindar información sobre los niveles de exposición auditiva permitidos por jornada laboral y por lapsos de tiempo para los diferentes niveles de exposición, el músico tendrá más cuidado con las actividades que realice. Por

lo general, esta información es transmitida a trabajadores industriales, mas no a los músicos.

### **Objetivo general**

Obtener una aplicación matemática que permita brindar información predictiva a los músicos acerca de su salud auditiva.

### **Objetivos específicos**

- Conocer el nivel de ruido equivalente al que ensayan en promedio los músicos de rock de la ciudad de Quito.
- Realizar mediciones audiométricas a cada músico para conocer su estado actual en cuanto a respuesta de frecuencia de sus oídos.
- Implementar las normas ISO para cumplir con los parámetros establecidos para realizar audiometrías.
- Implementar un modelo para predecir el deterioro auditivo en músicos, en función del tiempo de ejecución del instrumento.
- Determinar el desplazamiento del umbral de los músicos involucrados en el presente proyecto.
- Analizar los datos obtenidos en las diferentes mediciones y, consecuentemente, realizar las respectivas recomendaciones a los músicos.
- Concienciar a los músicos acerca del cuidado auditivo.

## **1. Marco teórico**

En el siguiente capítulo se enunciarán conceptos básicos de acústica, de tal manera que se facilite el entendimiento del presente trabajo a la persona que lo utilice para su estudio o como documento de consulta.

### **1.1. Conceptos básicos de acústica**

#### **1.1.1. Acústica**

“La acústica es la disciplina que se ocupa de estudiar el sonido en sus diversos aspectos; la acústica además se divide en una gran cantidad de ramas. Para el presente trabajo se utilizarán las siguientes ramas de la acústica: acústica física, acústica musical, acústica fisiológica y mediciones acústicas” (Miyara, 1999, p. 3).

##### **1.1.1.1. Acústica física**

Se refiere al modelamiento de fenómenos sonoros, valiéndose de asignaturas como las matemáticas y la física, para que luego estos fenómenos puedan ser estudiados y predichos.

##### **1.1.1.2. Acústica musical**

Es el estudio de instrumentos musicales y su interacción con las personas que los ejecutan; es decir, estudia la construcción y el funcionamiento de los instrumentos musicales, además del desarrollo de escalas, acordes, disonancias, orquestas, etc.

##### **1.1.1.3. Acústica fisiológica**

“Estudia el funcionamiento del aparato auditivo, desde la oreja hasta la corteza cerebral” (Miyara, 1999, p. 21). Con esta rama de la acústica se puede comprender el mecanismo de la audición, de tal manera que se pueda conocer

de una manera más clara el proceso de captación del sonido por parte de un ser humano.

#### **1.1.1.4. Mediciones acústicas**

Se refiere a los procesos necesarios para hallar valores y resultados que sean producto de una medición acústica, ya sean estos audiométricos o parámetros acústicos como espectro, frecuencia, intensidad, presión sonora, potencia sonora, etc.

#### **1.1.2. Sonido**

Es la perturbación que da como resultado ondas sonoras que, al desplazarse, generan vibraciones en el medio en el que se estén propagando, generalmente el aire o cualquier medio elástico. “Entonces queda claro que para que exista sonido debe necesariamente el objeto emisor encontrarse en un estado vibratorio” (Miyara, 1999, p. 1).

Entonces, se puede concluir que no habrá sonido cuando las partículas en las que las ondas sonoras se propagan se encuentren en un estado de equilibrio.

Cuando existe sonido, las partículas se mueven de una manera desordenada en todas direcciones, pero con la particularidad de que existe un mismo número de partículas en cada sección del medio donde se encuentren.

El sonido se crea como producto de un determinado evento, que hace que se encuentre un número superior de partículas en donde antes se encontraban partículas en un estado de equilibrio. La perturbación inicial hará que las partículas se vayan comprimiendo y descomprimiendo con las partículas de la sección contigua; este proceso se repetirá mientras exista la energía necesaria para seguir propagando la onda sonora. Una vez que este fenómeno llegue a los oídos del receptor, hará vibrar el tímpano del oyente, quien decodificará la vibración en su tímpano y le dará un sentido lógico en su cerebro.

### 1.1.2.1. Frecuencia de sonido

Este parámetro es de gran importancia en el área de la acústica. Se refiere al número de veces por segundo que oscila una perturbación en el medio en que se está desplazando; se la mide en hertzios (Hz). Por ejemplo, si un objeto vibra a 300 Hz, quiere decir que en un segundo ocurrieron 300 oscilaciones. Lógicamente, este objeto generará un sonido con un componente tonal alrededor de 300 Hz, más todos los armónicos que este pueda generar.

El parámetro de la frecuencia está estrictamente relacionado con el período (T), que se define como el intervalo de tiempo que se necesita para completar un evento repetitivo. Igualmente, se puede definir al período como el intervalo de tiempo entre dos puntos iguales que componen una onda sonora. Existe una relación matemática entre la frecuencia y el período de una onda sonora, como se muestra a continuación:

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$T = \frac{1}{f} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde, el período T se expresa en segundos y la frecuencia f en hertzios.

### 1.1.2.2. Intensidad del sonido

Se refiere a la fuerza con la que se propaga la vibración sonora. En otras palabras, es la alteración que se genera en el medio de propagación; para este caso, el aire. La intensidad del sonido se mide en decibeles o decibelios (dB).

### 1.1.2.3. Presión sonora

Como se definió anteriormente, el sonido es una sucesión de eventos vibratorios o, dicho de otro modo, es el desplazamiento de ondas sonoras que,

al moverse en el medio, generan una presión y descompresión en las partículas, en el instante donde se encuentra la onda sonora. Si se observa el fenómeno desde un punto fijo, se puede concluir que existen valores de presión al momento de generarse la perturbación. Este parámetro se mide en pascales (Pa); debido a que los valores de presión y descompresión causados por las ondas sonoras son muy pequeños, se los suele identificar con la unidad p. Los valores de presión sonora audibles varían desde los 0,00002 Pa (los sonidos con menor energía percibidos por el oído humano) hasta un valor máximo de 20 Pa (los sonidos con mayor energía percibidos por el oído humano, sin generar ningún daño permanente en el mismo). Una vez que se han superado los 20 Pa, se percibe al sonido como dolor.

#### **1.1.2.3.1. Decibeles**

“El decibelio (dB) es una unidad que se utiliza para medir la intensidad del sonido y otras magnitudes físicas. Un decibelio es la décima parte de un belio (B), unidad que recibe su nombre por Graham Bell” (Miyara, 1999, p. 16).

Los decibeles se usan en escalas logarítmicas. Estas son adecuadas para representar el espectro auditivo del ser humano, debido a que hay un rango muy amplio de valores entre el valor máximo y mínimo de presión sonora que un oído humano promedio puede percibir. Al utilizar decibeles, se logra comprimir esta escala, lo que facilita el entendimiento de los resultados.

#### **1.1.2.3.2. Nivel de presión sonora**

A partir de lo expuesto anteriormente, el valor mínimo de presión sonora de escucha de un ser humano es de 0,00002 Pa y el máximo es de 20 Pa, con lo cual se tiene un rango muy grande de posibles valores medibles. Para fines de estudio resulta muy poco práctico; por ello, se decidió comprimir la escala de valores de tal manera que se facilitara su manejo: se usó una escala logarítmica que da lugar a lo que se llama “nivel de presión sonora” (NPS) y que toma como nueva unidad de medida a los decibeles.

Para utilizar una escala logarítmica se debe tener un valor de referencia. En este caso, se toma el valor mínimo de presión sonora percibida por el oído humano, es decir, 0,00002 Pa; entonces,  $P_{ref} = 0,00002$  Pa. Por lo tanto, el nivel de presión sonora quedaría definido de la siguiente manera:

$$NPS = 20 \log_{10} \left( \frac{P}{P_{ref}} \right) \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde NPS es el nivel de presión sonora, P es el valor de la presión sonora que se desea evaluar (en pascuales) y  $P_{ref}$  es el valor de la presión de referencia: 0,00002 Pa.

### 1.1.3. Potencia acústica

Se define como potencia acústica a la cantidad de energía que emite una determinada fuente en forma de ondas sonoras. Este valor es propio de cada fuente, a diferencia del valor de presión sonora, que depende del entorno en el que se encuentre la fuente. Para hallar este valor se deben realizar mediciones alrededor de la fuente, de tal manera que se pueda contabilizar la cantidad de energía irradiada por ella. El valor de potencia acústica lo suele dar el fabricante de la fuente sonora. Este parámetro se mide en vatios (W).

#### 1.1.3.1. Nivel de potencia acústica

De la misma manera que con el nivel de presión sonora, existe una gran cantidad de valores posibles de potencia acústica de una fuente; por eso, la escala de valores se comprime, utilizando una escala logarítmica en la que se toma a  $10^{-12}$  vatios como valor de potencia acústica de referencia. La fórmula de nivel de potencia acústica irradiado por una fuente queda definida de la siguiente manera:

$$NWS = 10 \log_{10} \left( \frac{W}{W_{ref}} \right) \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde NWS es el nivel de potencia acústica (en dB),  $W$  es la potencia acústica de la fuente (en W), y  $W_{ref}$  es igual a  $10^{-12}$  W.

### **1.1.3.2. Ponderaciones en dBA**

El oído humano no se comporta de igual manera para un mismo nivel de presión, sino que varía su respuesta en las diferentes frecuencias, por lo que, si nuestro oído fuese lineal, los seres humanos podríamos escuchar con la misma intensidad auditiva las frecuencias más bajas, medias y altas. Sin embargo, esto no es cierto: “El oído humano tiene una menor sensibilidad en las frecuencias más graves. Las frecuencias donde el oído humano es más sensible son las medias y altas” (Azpiroz, 2004).

Por lo tanto, cuando se habla de niveles de presión sonora aplicados a una ponderación A, se refiere a que a las bandas de frecuencia donde el oído es menos sensible se les ha restado un valor para asemejar la forma en que lo escucharía el oído humano, mientras que en la zona de frecuencias agudas se suman valores.

### **1.1.3.3. Decibeles de pérdida auditiva: dB HL**

Son las unidades que se emplean en la escala logarítmica. Estas unidades son frecuentemente utilizadas en exámenes audiométricos y en pruebas que se basan en la audiometría tonal.

Al utilizar esta escala decibélica, se toma como cero de referencia al valor que ha sido elegido con base en los promedios para cada umbral de audición de personas auditivamente normales y sanas; este valor se lo calcula para cada banda de frecuencia. Por lo general, el cero de referencia es un valor que es producto de los promedios de personas con una edad comprendida entre 18 y 20 años, que no han sufrido ningún tipo de trauma acústico y que han realizado actividades que no alteran su audición de forma permanente.

Entonces, el valor de 0 dB HL fue seleccionado a partir de un criterio psicoacústico, y no a partir de un valor físico, como se hace con los dB SPL.

Cada vez que se haga referencia a los 0 dB HL, se asumirá que este valor es diferente para cada banda de frecuencia; en otras palabras, este valor es calculado con distintos niveles de referencia para cada banda de octava. Por ejemplo, los 0 dB HL en 1000 Hz serán el producto de una presión sonora menor al valor de los 0 dB HL en 500 Hz, como se muestra en la Tabla 4. Para que quede claro, se puede decir que, para cada banda de frecuencia, los 0 dB HL corresponderán a un nivel diferente de presión sonora medida en pascales.

En las gráficas que se utilizan para representar los resultados de ensayos audiométricos en este documento, se empleará como límite máximo de umbral de audición a la línea de 0 dB HL, que básicamente es una representación aplanada de una curva que fue expresada en dB SPL; de esta manera, en cada frecuencia, los 0 dB HL corresponderán a valores diferentes que fueron calculados utilizando la escala de dB SPL.

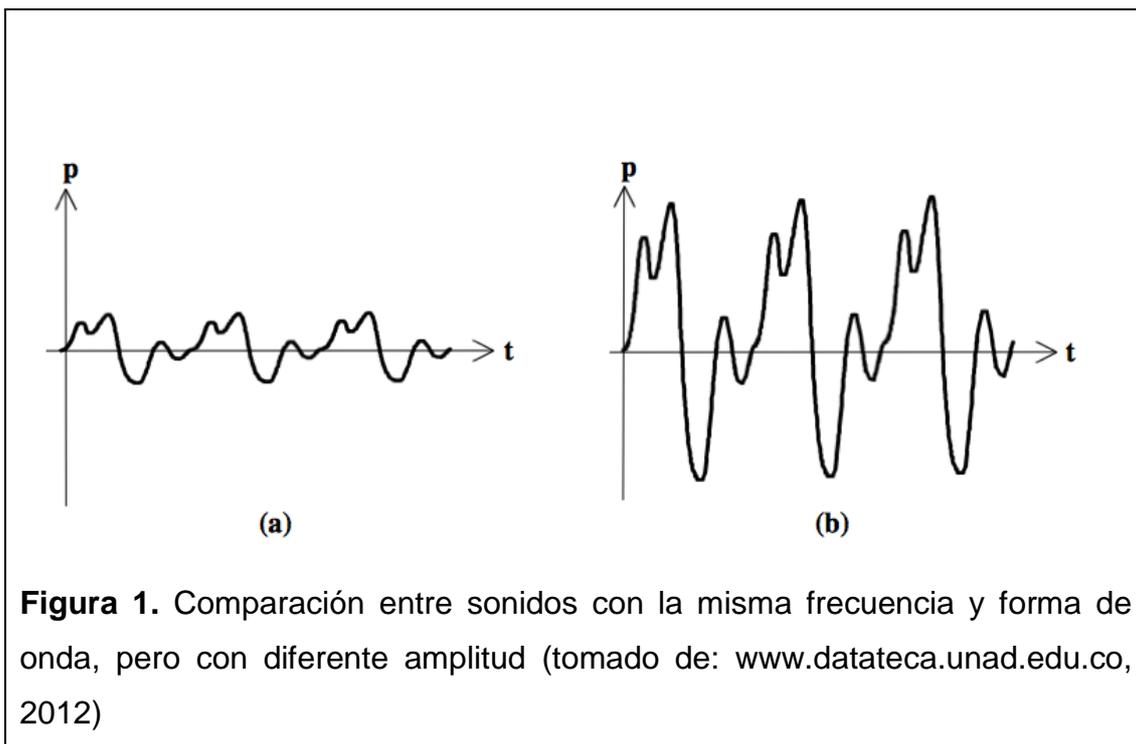
Para facilitar la manera de leer una prueba audiométrica, se utiliza en las gráficas de ensayos audiométricos la escala decibélica HL, para poder visualizar el umbral de audición de una persona para todas las frecuencias. El nivel de referencia se representa como una línea recta en la parte superior del eje de las abscisas, lo que facilita tanto interpretar como comparar distintos gráficos audiométricos. Al utilizar la escala decibélica HL, resulta más sencillo visualizar distintas gráficas que poseen diferentes valores que han sido igualados al tomar como referencia un mismo valor.

Por ejemplo, cuando se utiliza en una prueba audiometría tonal este tipo de escala, dB HL, se afirma que un paciente tiene un umbral de audición de 40 dB en determinadas frecuencias. Por lo tanto, se puede interpretar que estamos hablando de dB HL y no de dB SPL.

#### 1.1.4. Amplitud

Se define a la amplitud de una onda sonora como el máximo valor que esta puede alcanzar en un determinado intervalo de tiempo. Este valor es proporcional al valor del nivel de presión sonora de una onda; dicho de otra manera, a un mayor nivel de presión sonora existirá un valor de amplitud mayor en la onda que se esté evaluando.

En la siguiente figura se muestran dos sonidos con una misma frecuencia y forma de onda similar, pero con un valor diferente de amplitud. La Figura 1b tiene una mayor amplitud que la Figura 1a, pese a que tienen una misma forma de onda y oscilan en una misma frecuencia.

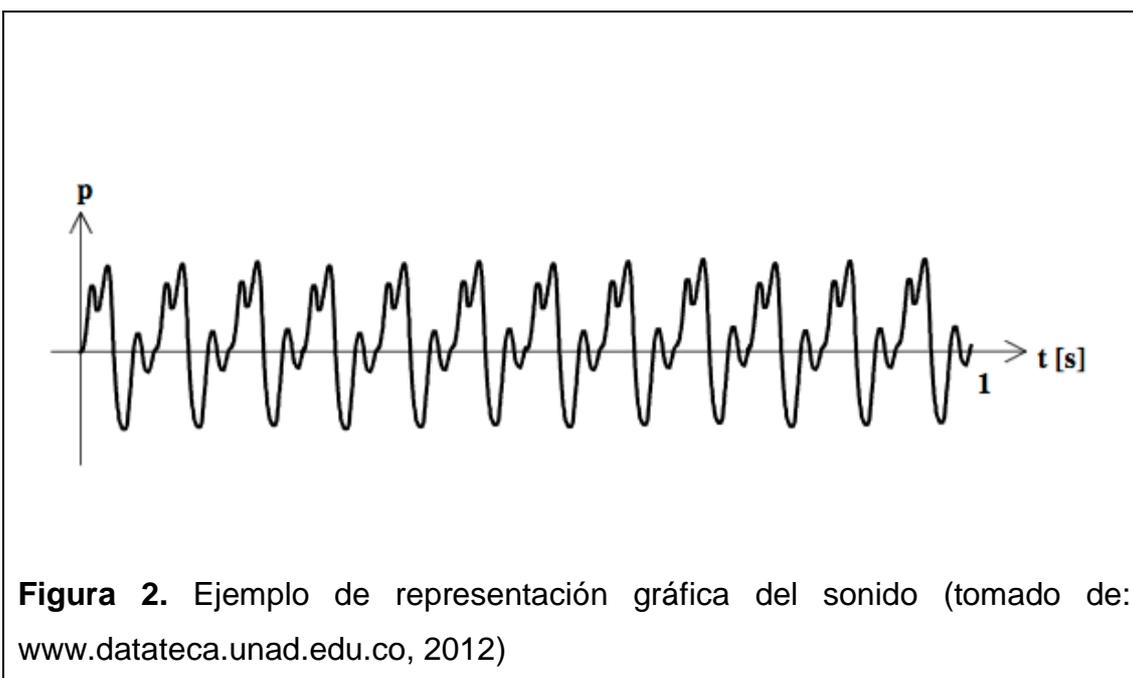


## 1.2. Representación gráfica del sonido

En el presente proyecto resulta de gran importancia poder analizar los gráficos que serán generados a partir de los valores obtenidos en pruebas audiométricas. Debe quedar clara la forma en que se grafica el sonido y todos los parámetros que definen al mismo.

Para poder diferenciar la manera en que un sonido es captado por el receptor, se necesitan tres parámetros importantes a la hora de realizar los gráficos audiométricos: la amplitud, la frecuencia y la forma de onda. Estos tres conceptos son los que definen a un sonido en su totalidad, y por eso son imprescindibles en una gráfica audiométrica o de mediciones acústicas.

En la Figura 2 se usa como ejemplo una perturbación que tiene como amplitud un valor  $P$  y, dado que oscila a una velocidad de 12 ciclos por segundo, tiene una frecuencia de 12 Hz, lo que quiere decir que en, una doceava parte de un segundo, ha transcurrido una perturbación con una misma forma de onda, como se puede visualizar.



Entonces, los parámetros que definen a esta perturbación sonora son los siguientes:

Amplitud = P

Frecuencia = 12 Hz

Forma de onda =



### 1.2.1. Gráficas audiométricas

Una vez que se han definido las magnitudes físicas que conforman el sonido, surge la necesidad de representar los resultados con la ayuda de gráficas audiométricas, para poder evaluar el estado auditivo del sujeto que ha sido sometido a las pruebas de audición que se han de realizar en este trabajo.

Las gráficas audiométricas brindan una visión más clara del estado del oído y de las posibles alteraciones que el sujeto pueda tener en la audición, dado que, al expresarlos únicamente en valores, los resultados no pueden ser interpretados por personas comunes con un verdadero significado.

Para realizar las gráficas audiométricas que se presentan en este documento, se tuvieron en cuenta las siguientes magnitudes.

#### 1.2.1.1. Umbral inferior

Es el valor mínimo de intensidad que el oído puede captar. Este valor se calcula para cada banda de frecuencia, y da como resultado una curva isofónica.

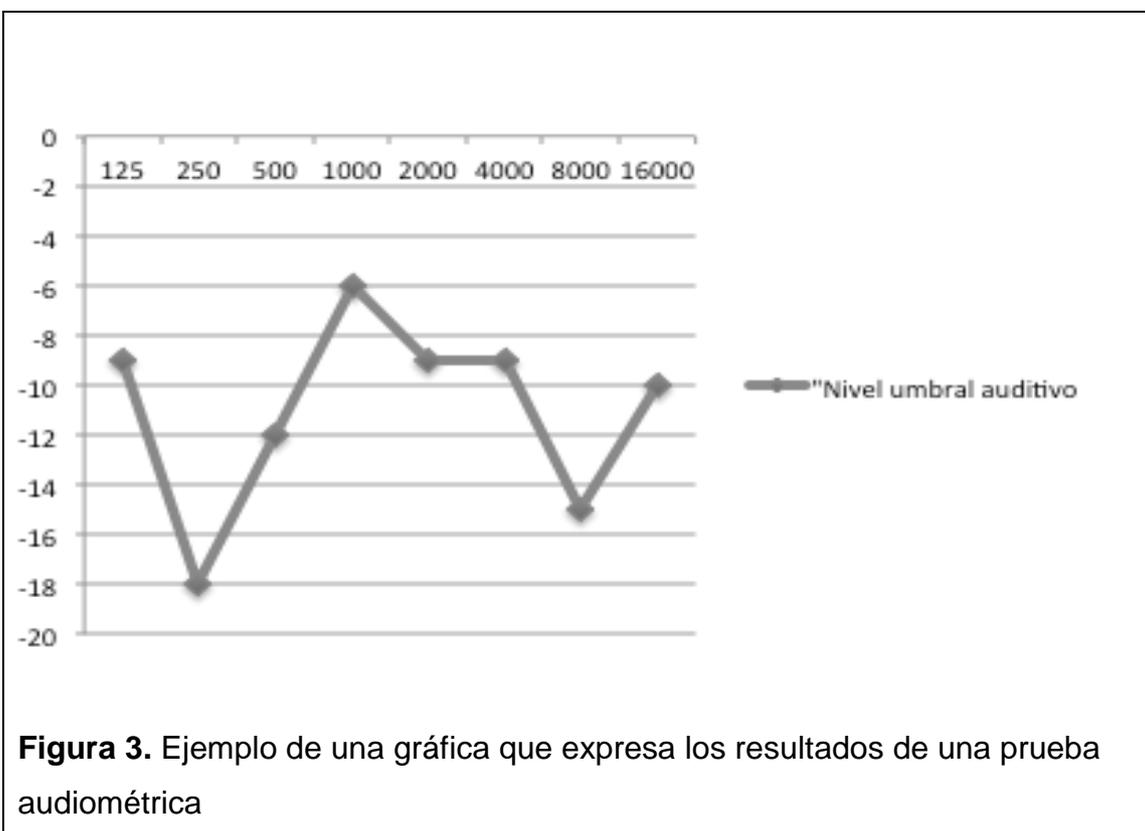
#### 1.2.1.2. Intensidad

Este valor se escribe en el eje de las abscisas. Este eje debe tener una escala dividida cada 5 dB.

### 1.2.1.3. Frecuencia

Este valor se escribe en el eje horizontal o de las abscisas y dependerá de qué bandas de frecuencias se utilizarán para realizar la audiometría. En este caso, utilizaremos bandas de octava desde los 125 Hz hasta los 16 kHz.

En la Figura 3 se puede observar un ejemplo de una gráfica audiométrica que presenta un daño mayor en las frecuencias de los agudos que en las bandas de frecuencia de los medios, y un gran deterioro en la banda de frecuencia de los 250 Hz.



#### **1.2.1.4. Zonas de las gráficas audiométricas**

Una vez que se conocen los resultados de las pruebas audiométricas, es necesario hablar de zonas donde existe daño auditivo. El común de las personas no conoce términos acústicos; por lo tanto, para fines prácticos, no resultaría muy amigable o comprensible hablar de problemas auditivos en la banda de 4000 Hz. Por eso se definen a continuación dichas zonas.

##### **1.2.1.4.1. Zona conversacional**

Esta zona está comprendida entre los 125 Hz y los 2 kHz, y toma su nombre porque la mayoría de las voces humanas producen frecuencias naturales comprendidas en el rango mencionado. En otras palabras, son las bandas de frecuencias comúnmente generadas por las voces humanas.

##### **1.2.1.4.2. Zona de agudos**

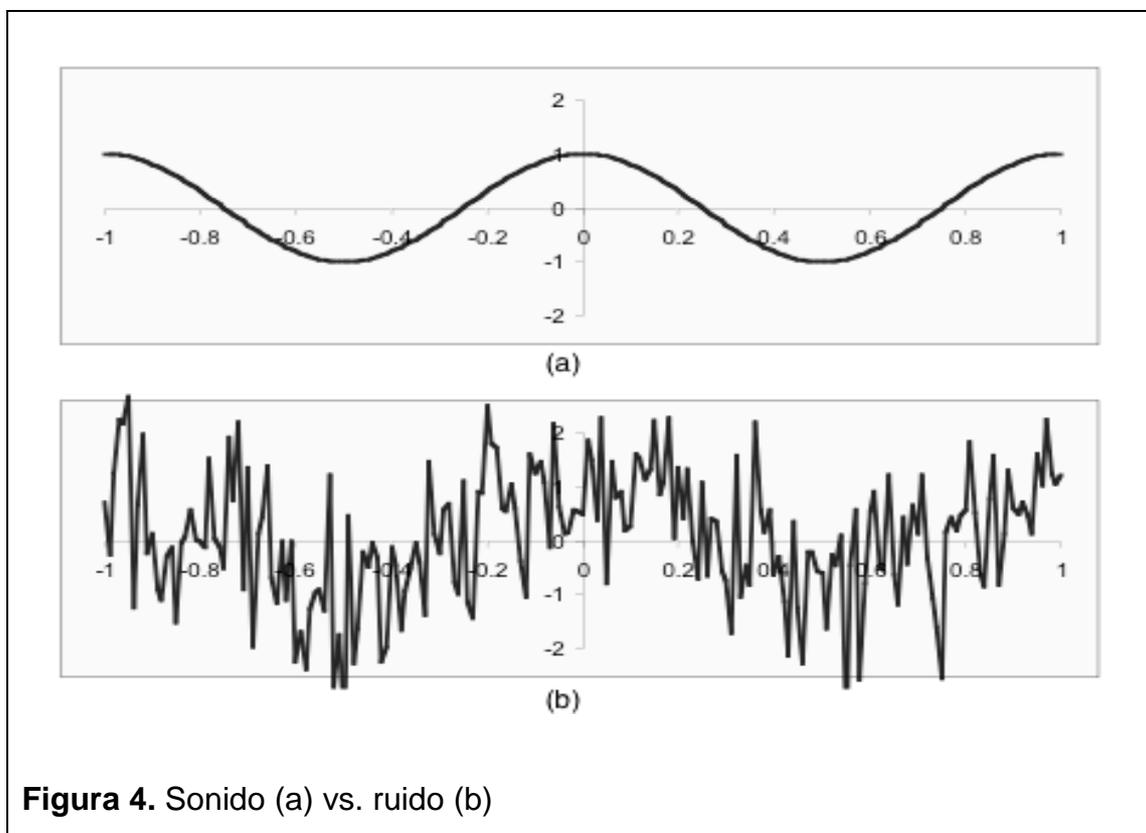
Esta zona está comprendida entre las frecuencias de 2000 Hz y 16 000 Hz, y es el límite superior de frecuencias que el oído humano puede escuchar. Comúnmente, es en esta zona donde se presentan con mayor notoriedad los daños auditivos producidos por una exposición prolongada a niveles altos de ruido, porque nuestro oído es más sensible en estas bandas de frecuencias.

### **1.3. Ruido**

Dado que el ruido es también un sonido, resulta un poco complicado definirlo, pero una definición algo lógica sería que el ruido es un sonido que puede ser molesto o intolerable para una persona o animal. Sin embargo, este concepto sería subjetivo, porque quedaría al criterio del oyente qué es y qué no es ruido. Entonces, el ruido se podría definir como un sonido no deseado en un lugar determinado.

Comúnmente, el ruido no posee una forma cíclica, sino que “tiene varios componentes de frecuencia con distintas amplitudes y diferentes formas de onda, dando como resultado distintas frecuencias fundamentales con sus armónicos ocurriendo en un mismo instante de tiempo” (Miyara, 1999, p. 34).

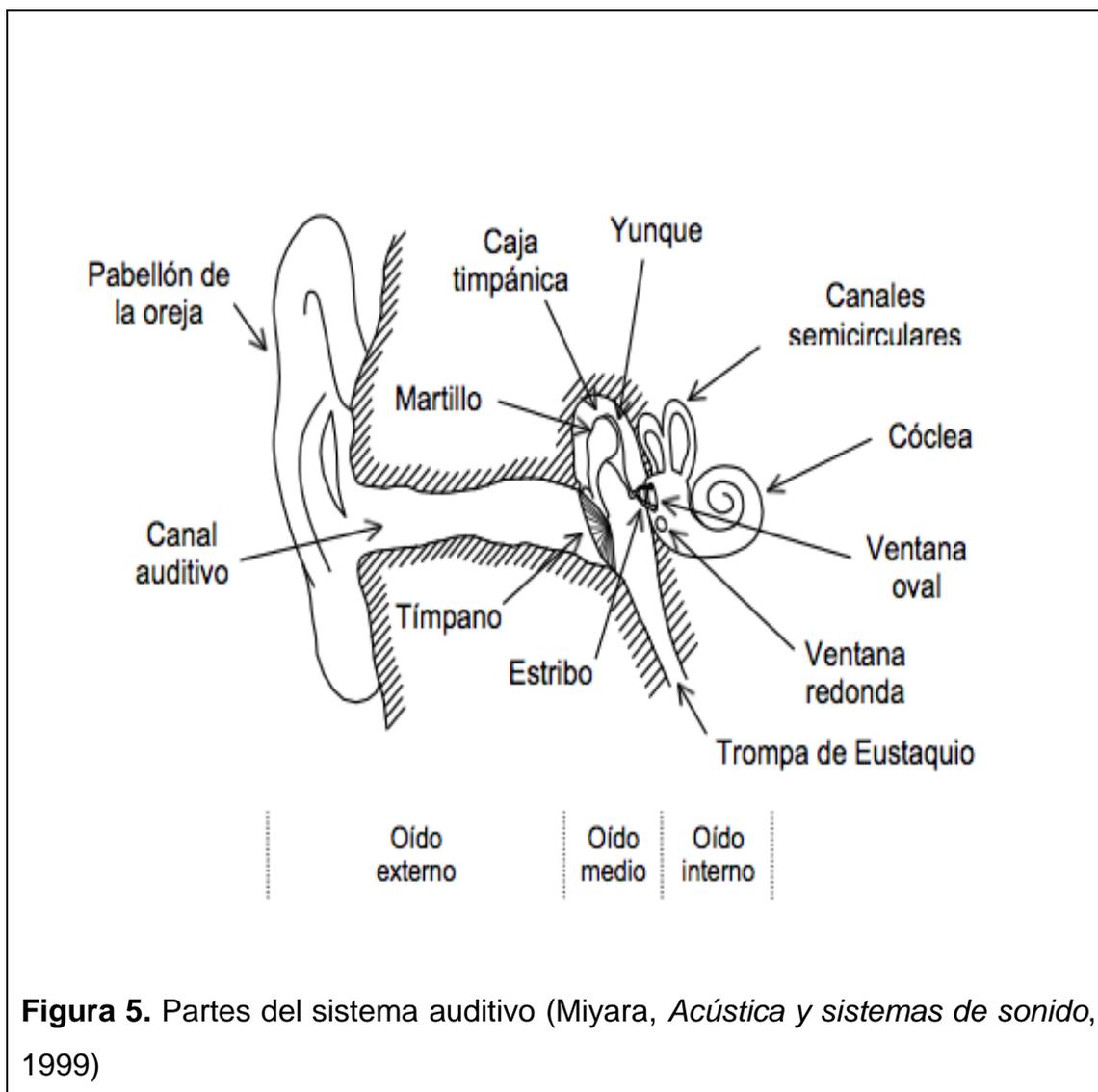
En la Figura 4a se muestra una frecuencia fundamental, mientras que en la figura 4b se muestra la misma frecuencia fundamental sumada con una señal de ruido.



#### 1.4. Sistema auditivo

Para saber cómo los niveles altos de ruido afectan el sistema auditivo humano, es necesario comprender al menos básicamente cómo funciona el oído de los seres humanos.

Es muy importante saber cómo está estructurado el oído humano para poder implementar sistemas de protección y cuidado auditivo. El sistema auditivo está compuesto por tres secciones principales: oído externo, oído medio y oído interno. En la Figura 5 se muestra un esquema más claro de las secciones y partes del oído humano.



**Figura 5.** Partes del sistema auditivo (Miyara, *Acústica y sistemas de sonido*, 1999)

### **1.4.1. Oído interno**

Como se puede ver en la Figura 5, el oído interno es una cavidad que se aloja en la parte interna del hueso temporal, que se encuentra en la parte inferior del cráneo y es el encargado de mantener el equilibrio en los seres humanos. La función del oído interno es la de transformar la energía acústica, que ha sido producida por el sonido, en impulsos nerviosos que serán enviados al cerebro.

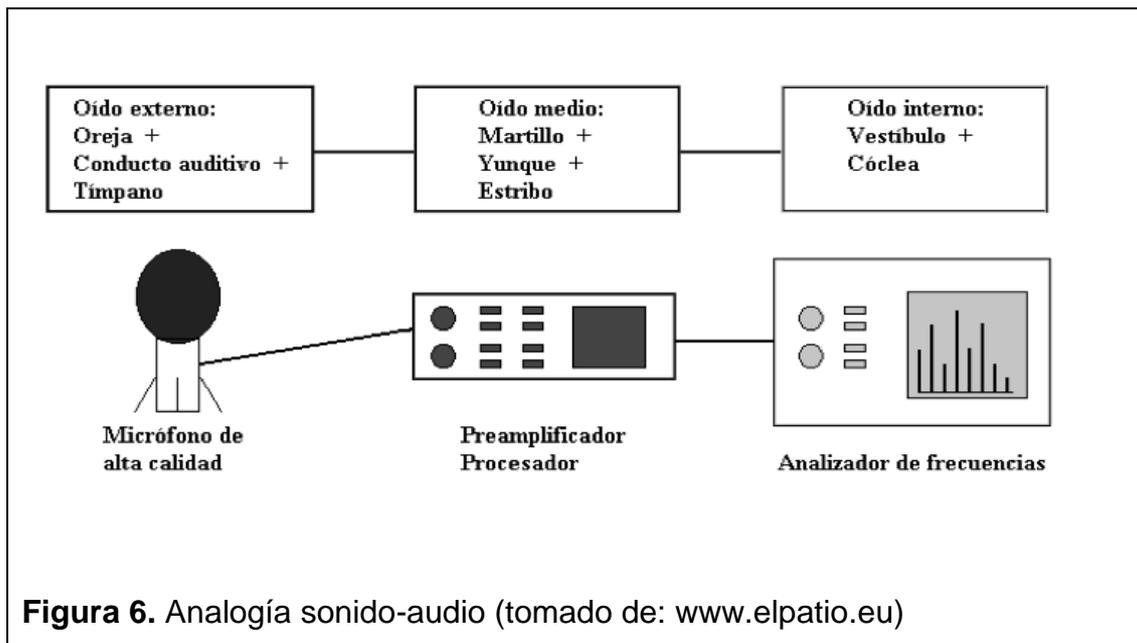
### **1.4.2. Oído medio**

Está conformado por una cadena de huesecillos que básicamente reciben las vibraciones del oído externo y, haciendo una analogía con una palanca mecánica, bajan la amplitud de las vibraciones pero aumentan la presión para el líquido del oído interno; además, cuentan con un sistema de protección para sonidos fuertes. Dicho en otras palabras, los huesecillos pierden la eficacia de transmisión para sonidos con una alta amplitud. El problema es que solo funciona para sonidos de una duración superior a los 200 ms; caso contrario, este sistema no funciona. Por ejemplo, un sonido impulsivo podría dañar al oído.

### **1.4.3. Oído externo**

Como muestra la Figura 5, el oído externo está compuesto por la oreja, que es la encargada de redireccionar el sonido proveniente del exterior y enviarlo al tímpano, lo que da una sensación de direccionalidad del sonido al cerebro humano. Otra función es la de proteger al tímpano del ingreso de objetos extraños con la ayuda de cerumen y pilosidades.

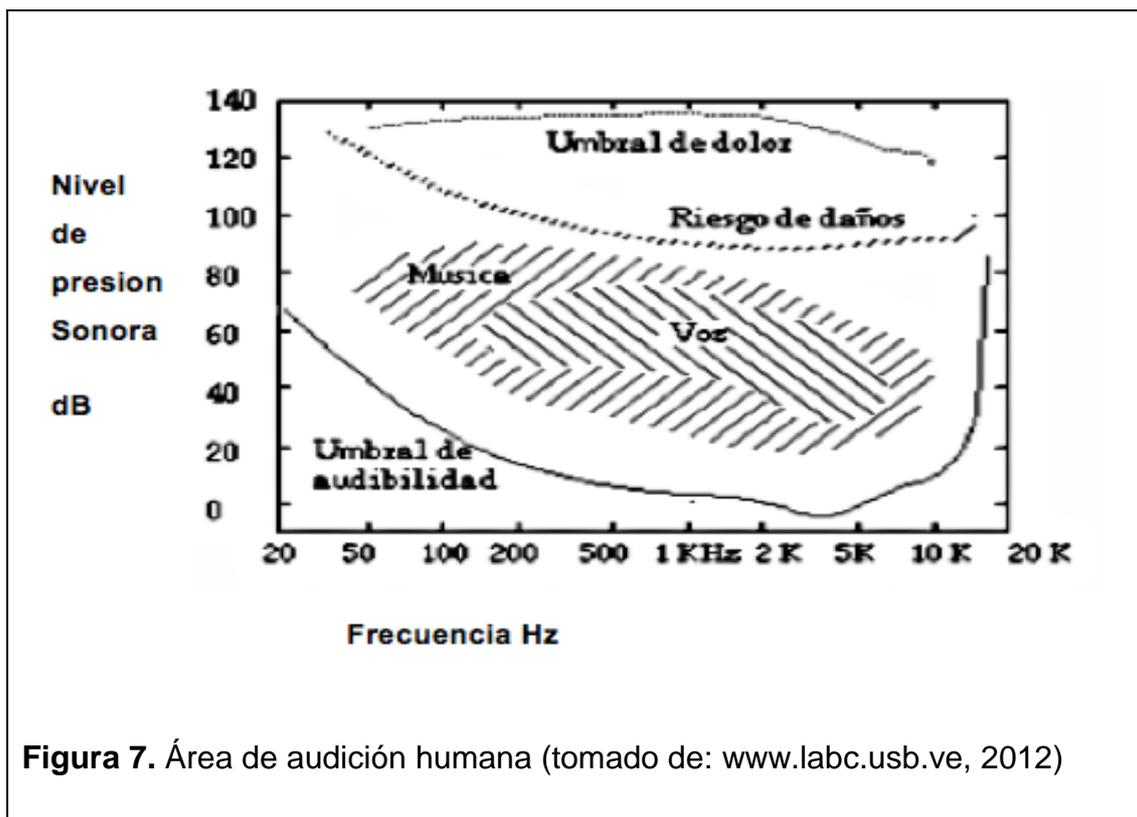
En la Figura 6 se muestra de una forma analógica cómo funciona el oído humano en comparación a instrumentos electrónicos de audio.



#### 1.4.4. Área de audición

El ser humano tiene un rango de audición que va desde los 20 Hz a los 20 kHz, pero este rango de frecuencias, con el pasar de los años y con el trato que se le da al oído, se va haciendo más pequeño, comenzando por los extremos del rango de frecuencias audibles. Dicho de otra forma, se comienza a perder la escucha en las frecuencias altas y bajas, mientras que las frecuencias que se encuentran en la zona conversacional (125-2000 Hz) son las últimas en sufrir un deterioro.

El oído humano no responde de una manera plana al rango de frecuencias audibles. En la mayoría de seres humanos, el oído es más sensible en las frecuencias entre los 500 Hz y los 5000 Hz, y menos sensible en los extremos del espectro audible, es decir, bajo los 125 Hz y sobre los 10 kHz. Por ejemplo, un tono puro de 50 Hz a 60 dB no podrá ser percibido de igual manera que un tono puro de 2000 Hz a 60 dB.



**Figura 7.** Área de audición humana (tomado de: [www.labc.usb.ve](http://www.labc.usb.ve), 2012)

#### 1.4.4.1. El umbral de audición

Es el nivel sonoro por debajo del cual el oído de una persona no detecta ningún sonido. Para los adultos, el nivel de referencia se toma de datos estadísticos de personas que gozan de una buena salud y nunca hayan sufrido algún tipo de trauma acústico. Este valor se calcula para cada banda de frecuencia y, además, varía en función de la edad del individuo.

Para el presente trabajo, se han tomado los valores de umbral de audición que se muestran en la Tabla 4.

##### 1.4.4.1.1. El desplazamiento del umbral auditivo

Cuando se habla de desplazamiento auditivo, se refiere al aumento de los valores de presión sonora que el oído humano necesita para percibir un sonido

de una determinada banda de frecuencia, lo que significa que la sensibilidad auditiva disminuye y al oyente le resulta más difícil percibir sonidos suaves. El desplazamiento del umbral puede ser temporal o permanente.

## **1.5. Ruido laboral**

Se define como ruido laboral a cualquier sonido no deseado que es inherente al lugar donde las personas realizan sus actividades diarias. Para el presente trabajo se lo clasificará, en términos generales, en dos tipos.

### **1.5.1. Ruido de fuente**

Es el tipo de sonido no deseado que proviene de un generador de ruido. Este tipo de ruido será cuantificado para la medición cuando sea necesario conocer el nivel de presión sonora que emite una determinada fuente. Además, la medición se realizará en determinados puntos alrededor de la fuente, para cuantificar un valor correcto de nivel de presión sonora.

#### **1.5.1.1. Ruido en el ambiente laboral**

Es la exposición constante a sonidos no deseados en el lugar donde se realizan las actividades laborales. Además, puede generar enfermedades físicas y psicológicas y afectar la calidad de vida del trabajador, en este caso los músicos.

Este tipo de ruido se cuantifica utilizando normas o estándares mencionados en las normativas locales de seguridad ocupacional de la ciudad de Quito, para hallar un valor que muestre en qué grado o porcentaje una persona ha sufrido deterioro en su sistema auditivo.

Dentro de los dos grupos de ruido que han sido mencionados, hay diferentes clases de ruido que se clasifican según la forma de onda inherente a su nivel de presión sonora o a su duración en el tiempo.

### **1.5.1.2. Ruido de impacto**

Es el ruido que varía su nivel de amplitud abruptamente en un instante muy corto de tiempo, es decir, que tiene una duración muy corta; por ejemplo, un golpe entre objetos, una explosión, etc. El ruido de impacto, debido a su naturaleza, puede pasar por alto el sistema de seguridad que tiene el oído humano, lo que da lugar a un daño permanente en la audición.

“La pérdida de audición se puede producir sin una exposición prolongada a un ruido. Una exposición breve a ruidos de impulsos (incluso a un único impulso fuerte), como los producidos por armas de fuego, puede tener efectos permanentes, como la pérdida de audición. Asimismo los ruidos de impulsos pueden perforar la membrana del tímpano” (Fundación MAPFRE, 1995, p. 24).

## **1.5.2. Factores influyentes en la lesión auditiva**

### **1.5.2.1. Intensidad de ruido**

El límite de intensidad de ruido para evitar la hipoacusia es de 85 dBA a una exposición constante de ruido de 40 horas semanales. Este punto es considerado de seguridad total; sin embargo, si se sobrepasa este límite en reiteradas ocasiones, es muy probable que el músico muestre síntomas de hipoacusia permanente (IRSST, 2006, p. 20).

### **1.5.2.2. Incidencia del ruido**

El nivel de ruido equivalente continuo al que un músico se encuentra expuesto es inversamente proporcional a la calidad de su salud auditiva. Para tener una idea de cómo los niveles exagerados de ruido afectan la audición humana, se hará una breve explicación.

Las células ciliadas, que son las encargadas de codificar el sonido, son más susceptibles a los ruidos agudos. Dicho de otra manera, a las frecuencias entre

3000 y 6000 Hz, la lesión en la banda de 4000 Hz es el primer signo de afección en la mayoría de los casos (IRSST, 2006, p. 20).

Cabe destacar que las células ciliadas no son regenerables; por lo tanto, una vez que se han visto afectadas por la exposición a ruidos exagerados, no volverán a trabajar de la misma manera que venían haciéndolo, lo que da lugar a un daño auditivo permanente, según sea el caso.

#### **1.5.2.3. Tiempo de exposición**

El tiempo de exposición diaria tiene una estrecha relación con la probabilidad que tiene una persona de sufrir un daño auditivo permanente. En Ecuador se toma como referencia el valor de 85 dBA para una jornada laboral de 8 horas como límite máximo de tiempo de exposición. El valor del límite de tiempo de exposición está estrechamente relacionado con límite del nivel de ruido al que puede estar expuesto un trabajador.

“La lesión auditiva inducida por ruido sigue una función exponencial en el tiempo, el deterioro es importante luego de un tiempo de exposición prolongado de ruido a uno o varios niveles” (INSHT, 1986, p. 3).

#### **1.5.2.4. Susceptibilidad individual**

La susceptibilidad de las personas se puede tomar como un factor de riesgo, aunque resulta complicado poder corroborarlo debido a la cantidad de variables que intervienen en el desgaste fisiológico del oído humano. La susceptibilidad al ruido puede ser hereditaria o depender de otros factores fisiológicos (IRSST, 2006, p. 20).

### 1.5.2.5. Edad

La hipoacusia también se presenta de una manera natural, por lo que no resulta conveniente hablar de hipoacusia en una persona de edad x, si no se han aplicado los descuentos según la edad del músico.

La hipoacusia natural ocurre cuando las células pilosas que se encuentran en el oído interno se dañan o mueren como producto de la edad de la persona.

No se puede mencionar una causa única conocida para la aparición de la hipoacusia relacionada con la edad; sin embargo, algunas personas tienen una mayor predisposición que otras a quedar sordas de manera natural.

Los siguientes factores contribuyen a la hipoacusia relacionada con la edad:

- Si la hipoacusia ha estado presente en familiares, es más probable que se la sufra.
- Los fumadores son más propensos a perder la audición que las personas que no fuman.
- Algunas personas con diabetes también son propensas a perder la audición.
- El uso de medicamentos por períodos largos de tiempo puede generar hipoacusia.

Existe una mayor probabilidad de deterioro de la audición en personas de la tercera edad; con el envejecimiento, las personas pierden su capacidad auditiva. El desplazamiento del umbral de audición se manifiesta con más intensidad en las personas que han permanecido expuestas a ambientes ruidosos (IRSST, 2006, p. 21). La Tabla 1 muestra los valores de pérdida de audición o hipoacusia en hombres y mujeres.

**Tabla 1.** Valores equivalentes de pérdida auditiva en mujeres y hombres en función de la edad

EDAD	PÉRDIDA DE AUDICIÓN (dBA)	
	MUJERES	HOMBRES
30	2	3
35	3	7
40	5	11
45	8	15
50	12	20
55	15	26
60	19	38

Los valores de pérdida de audición o hipoacusia muestran que a la edad de 30 años la pérdida auditiva de una mujer es de 2 dBA, mientras que en el hombre es de 3 dBA. Los valores se duplican a partir de los 35 años.

#### 1.5.2.6. Enfermedades del oído

Las lesiones auditivas pueden ser iniciadas por afecciones previas en órganos del oído y sistemas relacionados con la audición, aunque no se tiene un registro oficial de esta información. Las relaciones de causa y efecto de afecciones sufridas en la audición pueden ser consideradas como origen de problemas de salud y se pueden agravar con la exposición al ruido presente en el entorno laboral (Consejo Interterritorial, 2008, p. 32).

#### 1.6. Hipoacusia

Es la deficiencia que presenta un individuo para poder captar los diferentes tipos de sonidos que rodean su entorno, de tal manera que una persona con hipoacusia solo puede captar parcialmente el sonido original, ya sea con uno o sus dos oídos.

A continuación se enuncian varios síntomas que pueden ayudar a dar un diagnóstico rápido sobre la presencia de hipoacusia en el músico:

- Cuando la persona percibe sonidos demasiado fuertes en relación a como los perciben los demás.
- Cuando existe una conversación entre dos o más personas y una de ellas no logra entender con claridad lo que dicen las demás.
- En lugares ruidosos, la persona no logra entender muy bien ciertos mensajes dirigidos a ella.
- Presenta dificultad para diferenciar sonidos y a menudo confunde sonidos entre sí.
- Escucha con más claridad a una voz masculina, mientras que le cuesta mucho más entender a una voz femenina, sobre todo si las dos voces están transmitiendo el mismo mensaje.
- En lugares que tienen un nivel de ruido de fondo aceptable, al individuo le cuesta descifrar mensajes dirigidos hacia la colectividad en la que se encuentra.
- Tiende a escuchar mensajes normalmente transmitidos como voces que dan la impresión de estar hablando entre dientes o como frases o palabras mal articuladas.

#### **1.6.1. Hipoacusia inducida por ruido**

A la hipoacusia se la conoce comúnmente como una pérdida auditiva que ha surgido como consecuencia de exposición a niveles no adecuados de ruido, aunque también puede aparecer en personas que han estado expuestas a niveles exagerados de música, y no necesariamente al ruido.

El proceso de pérdida auditiva empieza a aparecer como consecuencia de una exposición prolongada a ruidos intensos. Su primer síntoma suele ser la incapacidad de escuchar los sonidos de bandas de frecuencias agudas. A menos que se resuelva el problema que plantea el exceso de ruido, la

capacidad auditiva de la persona continuará deteriorándose hasta llegar a tener problemas para detectar los sonidos de las frecuencias de banda de los bajos.

#### **1.6.1.1. Acúfenos**

Los acúfenos son sensaciones de timbre, zumbido o explosión ajenas al normal funcionamiento de los oídos. Por lo general se van adquiriendo como producto de realizar ciertas actividades ruidosas.

Los acúfenos generalmente aparecen cuando una persona, debido a sus actividades diarias, se encuentra expuesta a niveles de ruido no adecuados. Si el ruido es de impulso (por ejemplo, una explosión), el riesgo de presentar acúfenos en la audición puede aumentar de modo considerable.

Cuando los acúfenos se hacen presentes por primera vez en la audición de una persona, se los puede tomar como un claro indicio de que se está sobreexponiendo al oído a situaciones ruidosas.

Normalmente, el lugar de ensayo del músico puede ser una fuente de estrés para las personas que se encuentran contiguas a las instalaciones de práctica musical, si no se está ensayando a niveles de ruido permisibles.

El ruido en el lugar de trabajo puede causar muchas molestias, incluso si no alcanza un nivel que exija medidas para evitar la pérdida de audición, y puede llegar a convertirse en un factor de incomodidad auditiva (como, por ejemplo, un teléfono que suena con frecuencia, el ruido constante que genera un equipo de aire acondicionado, el llanto de un bebé, etc.).

El grado con el que el ruido puede afectar a la vida normal de una persona depende de muchos factores, pero se pueden destacar los siguientes:

- La naturaleza del ruido, es decir, a qué volumen es emitido, en qué rango de frecuencias ocurre y cómo lo perciben los oyentes.

- La complejidad de la tarea que realiza el trabajador; por ejemplo, el hecho de que otras personas estén hablando puede ser un factor de estrés si las tareas exigen concentración (Fundación MAPFRE, 1995, p. 54).
- La profesión del trabajador; en el caso de los músicos, el desgaste auditivo puede generar niveles altos de estrés.
- El mismo músico, al ensayar a niveles de música no adecuados, no puede tener un claro entendimiento de los sonidos generados, lo que da lugar a la presencia de estrés.

### **1.6.2. Hipoacusia inducida por música**

Los músicos, al estar expuestos durante largas jornadas a niveles altos de música y no necesariamente ruido, también deberían ser ubicados en una situación de riesgo de pérdida auditiva, como lo están los trabajadores que manipulan maquinarias ruidosas. Sin embargo, no se cuenta con una legislación específica en la que se fijen límites máximos de exposición a música por jornada laboral, y mucho menos existe un programa de cuidado de la audición para músicos.

En Quito se cuenta con una legislación en la que se mencionan únicamente los valores de niveles máximos permisibles de ruido continuo. Se utilizarán estos límites para realizar el presente trabajo y, para fines prácticos, a la música se la tratará como ruido.

La mayor cantidad de información e investigaciones realizadas en ámbitos laborales ha sido elaborada tomando como referencia actividades por lo general vinculadas al área industrial. Dicho en otras palabras, las medidas y regulaciones existentes fueron diseñadas para ambientes industriales, por lo que no existe una normativa legal acerca del cuidado de audición para músicos exclusivamente.

Normalmente, a la música no se la define como un ruido, pero para fines prácticos de este trabajo se lo hará de esta manera. Las normativas existentes en Ecuador y en la ciudad de Quito no hablan de “niveles de exposición a música”, aunque en ciertas circunstancias la música puede ser definida como ruido si a las personas contiguas a la fuente de emisión sonora de música les produce incomodidad su recepción.

Los adultos y niños suelen escuchar música a niveles sonoros elevados, debido a la popularidad de los audífonos, que comúnmente se encuentran conectados a iPods o a reproductores de mp3.

La hipoacusia inducida por música se presenta en gran medida en personas que hacen uso de auriculares por períodos prolongados de tiempo, lo que da lugar a un desgaste de la parte interna del oído, que contiene a las células pilosas.

El oído humano es como cualquier otra parte del cuerpo humano: si se usa demasiado, puede dañarse. La exposición repetitiva a ruidos y a música a niveles elevados puede causar hipoacusia.

### **1.7. Audiometrías y criterios de valoración**

La audiometría es una prueba que permite medir el nivel de audición para determinar la capacidad auditiva del paciente e indicar posibles causas de la pérdida auditiva.

Para llevar a cabo este tipo de pruebas, el paciente debe hacer uso de una cabina insonorizada, lo que quiere decir que el procedimiento se debe realizar en un lugar donde no exista ruido de fondo y donde tampoco se puedan registrar sonidos o ruidos que provengan desde fuera de la cabina. Además, la persona que va participar en esta prueba debe hacer uso de auriculares en sus dos oídos.

La persona encargada de realizar la audiometría al músico es quien tiene la responsabilidad de presentar al paciente una serie de sonidos y ruidos a través de los auriculares.

Posteriormente, se le comunican al músico las siguientes indicaciones:

- a) En el instante en que sea capaz de percibir los tonos puros, se lo debe comunicar a la persona encargada de realizar el procedimiento.
- b) Los valores de intensidad sonora irán variando, y se espera que, en un determinado valor, el paciente ya no escuche nada.
- c) El último valor que el paciente sea capaz de registrar con sus oídos ayudará a determinar el umbral de audición para esa frecuencia en concreto.

Mientras se lleva a cabo el procedimiento práctico de los ensayos audiométricos, se llenan paralelamente las hojas de audiometría según el nivel de intensidad sonora a la que el músico reporte que percibe determinados sonidos; para este caso, tonos puros de banda de octava. A estos gráficos se los conoce con el nombre de “audiogramas”, y “muestran la capacidad auditiva de una persona en uno o dos oídos” (Falagán, 2009, p. 63).

A partir de los valores obtenidos en el audiograma se puede realizar un análisis que permita determinar si el nivel de desplazamiento del umbral auditivo del paciente es el adecuado o no para su rango de edad.

El ensayo audiométrico se puede llevar a cabo utilizando audiómetros profesionales o también empleando audiómetros que funcionan valiéndose de un *software* de ordenador. Esta última opción es la que se empleará en este trabajo, a partir del *software* Logic Pro. El procedimiento se detalla a continuación.

### **1.7.1. Estándares mínimos para los instrumentos de audiometría**

A continuación se enuncian todos los parámetros mínimos que debe cumplir el equipo a utilizar durante los ensayos audiométricos. Estos parámetros se encuentran presentes en la norma ISO 8253-2:2009.

#### **1.7.1.1. Estándares mínimos para audífonos**

- Se seleccionan los instrumentos a ser utilizados durante este ensayo audiométrico a partir de los criterios expuestos en la norma ISO 8253-2:2009.
- Los auriculares deben ser capaces de reproducir las bandas de octava para frecuencias desde los 125 Hz hasta los 8 kHz  $\pm 2$  dB.
- Los auriculares deben cubrir un rango dinámico de 0 dB a 80 dB, al menos en el rango de frecuencias desde los 500 Hz hasta los 6000 Hz.
- Los auriculares deben tener un sistema de cancelación de ruido exterior.
- La distorsión armónica de los auriculares debe ser la siguiente:
  - a) De 125 Hz a 1 kHz  $< 2\%$
  - b) De 1 kHz a 2 kHz  $< 2\%$
  - c) De 2 kHz a 8 kHz  $< 1\%$

Los auriculares empleados para el ensayo audiométrico son los audífonos Sennheiser PXC 450. En el Anexo 2 se adjuntan las especificaciones técnicas.

#### **1.7.2. Estándares para la cabina audiométrica**

a) Los niveles de ruido de fondo detectados dentro de la cabina audiométrica, con la puerta cerrada, deben cumplir con los niveles de presión acústica máximos admisibles según la normativa ISO 8253-2:2009 (Anexo 3).

b) Cuando se usa un ruido de banda estrecha como señal de ensayo, los niveles de ruido de fondo en la cabina audiométrica deben ser algo inferiores a los detectados por el músico a través de los auriculares.

c) Las dimensiones de la cabina audiométrica se deben encontrar en un rango de 1 a 2 m de ancho, 2 m de alto y de 0,7 a 1,5 m de profundidad. En el Anexo 8 se muestra la cabina audiométrica utilizada.

### **1.7.3. Control del nivel de la señal**

#### **1.7.3.1. Características de la señal de ensayo**

Los tonos puros cumplen con lo enunciado en la norma IEC 60645-1, según se detalla a continuación:

a) Deben tener una distorsión armónica inferior al 5% en la frecuencia de 125 Hz e inferior al 3% para los tonos puros de 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz.

#### **1.7.3.2. Procedimiento de generación de tonos puros**

Todos los tonos puros utilizados durante el ensayo audiométrico fueron generados a partir del *software* Logic Pro. El procedimiento se detalla a continuación:

a) Se abre una sesión en blanco en cualquier *software* de edición de audio; para este caso, Logic Pro.



**Figura 8.** Sesión en blanco en Logic Pro

b) Se crean siete pistas en blanco dentro de la sesión, como se muestra a continuación.



**Figura 9.** Creación de pistas para reproducir los tonos puros

c) A cada pista en blanco se le incorpora el *plug-in Test oscillator*.



**Figura 10.** Generación de tonos puros

- d) Para cada pista se abre el *plug-in* llamado *Test oscillator*. En el casillero de *Frecuency* del *plug-in*, se introduce el valor de cada tono puro deseado, es decir, desde 125 Hz hasta los 16000 Hz.
- e) En la sección de *Level* del *plug-in*, se va variando el valor, mientras con el sonómetro, colocado en el auricular a una distancia similar a la que estaría el oído del músico, se va verificando que se cumpla con los valores enunciados en la Tabla 4. El único parámetro que se modifica es el valor que se introduce en la casilla *Level* del *plug-in*.
- f) Una vez que ha sido calibrada la señal de prueba, se incorpora otro *plug-in*, en este caso el Q1, para modificar los valores de ganancia de la señal de los tonos puros. En el Anexo 9 se muestran fotografías del procedimiento de calibración del equipo



**Figura 11.** Nivel de ganancia de los tonos puros

#### 1.7.4. Tamaño del paso de los tonos puros

Los saltos varían cada 3 dBA, como lo enuncia la norma ISO 8253-2:2009.

Este proceso se debe realizar para las siete bandas de octava que se utilizaron en los ensayos audiométricos.

#### 1.7.5. Audiometría clásica de tonos puros

Al no contar con un equipo profesional se emplea este tipo de audiometría. De todas formas, el procedimiento se encuentra respaldado por la norma española UNE-EN ISO 8253-2.

La audiometría clásica de tonos puros es el examen fundamental para la

medición de la audición. Los valores obtenidos en esta prueba se utilizan para determinar el umbral de audición para cada clase de músico que practica rock en la ciudad de Quito.

Dicho de otra manera, este tipo de audiometría busca determinar únicamente el estímulo de menor intensidad que son capaces de percibir los oídos izquierdo y derecho para cada una de las bandas de frecuencias. Los valores serán expresados en escala logarítmica dB HL.

Los tonos puros son generados electrónicamente por un audiómetro. Para este trabajo se utilizó el *plug-in* de generador de tonos del *software* de edición de audio Logic Pro.

Las frecuencias que se usan en la audiometría de tonos puros son 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000; 8000 Hz (ISO 8253-2:2009, p. 14).

#### **1.7.5.1. Ensayo binaural**

En un ensayo binaural se evalúa la capacidad de percibir sonidos que tiene cada oído del paciente que participa de las pruebas audiométricas.

En los ensayos binaurales es a menudo imposible, para el sujeto que está participando del ensayo audiométrico, decir con facilidad si la señal electroacústica está siendo percibida con mayor o menor intensidad por uno de sus oídos, en relación al otro. El ensayo se realiza para cada oído independientemente, es decir, una señal a la vez.

El informe escrito donde se anota el resultado de las audiometrías se llama "audiograma". Las frecuencias son expresadas en Hz y se colocan de izquierda a derecha. La intensidad es expresada en decibeles *hearing loss* (dB HL), de arriba abajo. El oído izquierdo se marca de color azul (y con cruces) y el derecho, con color rojo (y con círculos). El formato de tabulación de datos se encuentra en el Anexo 4.

## **1.8. Conceptos básicos de estadística**

### **1.8.1. Población**

Una población se define como un conjunto finito o infinito de personas u objetos que presentan características comunes.

El tamaño que tiene una población es un factor de suma importancia en el proceso de investigación estadística y en nuestro caso social; el tamaño viene dado por el número de elementos que constituyen la población. Según el número de elementos, la población puede ser finita o infinita.

Una población finita es aquella que está formada por un número limitado de elementos; para nuestro caso, el número de músicos que practican el género del rock en la ciudad de Quito.

### **1.8.2. Muestra**

La muestra es una representación significativa de las características de una población que, bajo la asunción de un error (generalmente no superior al 5%), “permite el estudio de las características de un conjunto poblacional, más pequeño pero que sigue manteniendo las características de toda la población” (Pinto, 2014, p. 1).

Por ejemplo, analizar a cada uno los individuos que conforman la población de músicos que practican rock en la ciudad de Quito significaría una gran cantidad de tiempo y recursos. La estadística nos dota de una herramienta, la muestra, para extraer un conjunto de población que represente a la globalidad y sobre la cual se pueda realizar el estudio.

Una muestra representativa contiene las características relevantes de la población en las mismas proporciones que en dicha población.

Al utilizar una muestra y no toda la población, se puede obtener información para hacer referencias sobre la población representada por la muestra. Dicho de otra manera, muestra y población son conceptos relativos: una población es un todo y una muestra es una fracción o segmento de ese todo.

#### **1.8.2.1. Técnicas de muestreo**

El muestreo es el procedimiento empleado para obtener una o más muestras de una población, y se realiza una vez que se ha establecido el marco muestral representativo de la población.

Al tomar varias muestras de una población, no se espera que los valores obtenidos para cada una sean necesariamente iguales; lo más probable es que varíen de una muestra a otra.

#### **1.8.2.2. Tamaño de la muestra**

Se refiere al número de individuos que se tomarán en cuenta para una actividad en particular; por lo tanto, el tamaño de la muestra es el número de participantes elegidos que sean necesarios para representar con sus características el comportamiento de toda la población.

“La elección del tamaño de la muestra depende de consideraciones no estadísticas y estadísticas. Las consideraciones no estadísticas pueden incluir la disponibilidad de los recursos, la mano de obra, el presupuesto, la ética y el marco de muestreo. Las consideraciones estadísticas incluirán la precisión deseada de la estimación de la prevalencia” (Johnson, 1994, p. 25).

Para determinar el tamaño adecuado de la muestra, es necesario seguir estos tres criterios:

### 1.8.2.3. Nivel de precisión

El nivel de precisión, también llamado “error de muestreo”, es el rango en que se estima que está el valor real de la población. Este rango se expresa en puntos porcentuales. Por lo tanto, si un investigador descubre que el 70% de los músicos tiene problemas de audición y quiere seleccionar una muestra con un error de muestreo de  $\pm 5\%$ , puede concluir que entre el 65% y el 75% de músicos tiene problemas de audición.

### 1.8.2.4. Nivel de confianza

Es la medida estadística del número de veces de cada 100 que se espera que los resultados se encuentren dentro de un rango específico.

Por ejemplo, si se selecciona un intervalo de confianza del 75%, significa que los resultados de una acción tienen una gran probabilidad de cubrir las expectativas el 75% de las veces.

### 1.8.2.5. Media aritmética

La media aritmética es un valor que representa el comportamiento esperado de una serie de datos. Se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. En nuestro caso, toma el nombre de “media muestral”, porque fue sacado de todos los valores incluidos en la muestra. Se lo define de la siguiente manera:

$$x = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^i a_i = \frac{a_1+a_2+\dots+a_n}{n} \quad (\text{Ecuación 5})$$

## **2. Metodología**

### **2.1. Pregunta directriz**

Los niveles a los que están expuestos los músicos de rock durante una práctica musical, ¿son los adecuados según las normas locales?

### **2.2. Variables**

Las variables son los fenómenos que pueden tener injerencia, ya sea directa o indirecta, en los resultados de una investigación o estudio.

#### **2.2.1. Variables independientes**

Son los fenómenos que adquieren valores de manera autónoma, sin la intervención de otras variables. Para el caso de estudio de pérdida de audición en músicos, las variables independientes son las siguientes:

- a) Tiempo de práctica musical.
- b) Edad de las personas involucradas en el estudio.
- c) Nivel de presión sonora que generan los instrumentos durante un ensayo musical.

#### **2.2.2. Variables dependientes**

Son factores que varían de una manera que se ven influenciados por los valores que entregan las variables independientes. Para nuestro caso, la variable dependiente sería el desplazamiento de umbral auditivo, debido a que este factor depende de otros, como la edad, el tiempo de práctica musical, el nivel de ruido equivalente medido durante una práctica musical, etc.

### **2.3. Orientación de la investigación**

Al realizar tanto pruebas audiométricas como mediciones de ruido en recintos acústicos de ensayo musical, se busca obtener valores que representen el estado actual y futuro de un músico de rock; por lo tanto, es una investigación de carácter cuantitativo.

Además, con la implementación de un cuestionario de carácter subjetivo, realizado a los músicos participantes, se busca hallar factores de carácter cualitativo acerca de la injerencia de cierto tipo de actividades sobre la percepción subjetiva que tiene el individuo en cuanto al nivel con que recepta un sonido.

### **2.4. Características de la investigación**

#### **2.4.1. Bibliográfica-documental**

Las fuentes de información que han servido de consulta para la realización de este documento son de carácter secundario, es decir, libros, internet, revistas, publicaciones, etc., de tal manera que este trabajo tiene una modalidad documental.

#### **2.4.2. De campo**

Para poder obtener datos que pudieran ser aplicados a la realidad de músicos de la ciudad de Quito, fue necesario realizar mediciones acústicas en recintos de práctica musical, así como realizar audiometrías a los músicos en lugares de ensayo de acceso popular, ubicados a lo largo de la ciudad de Quito. Además, se realizaron encuestas subjetivas a los músicos que eran partícipes del proceso de los ensayos audiométricos.

## **2.5. Tipo de investigación**

### **2.5.1. Asociación de variables**

A lo largo de este documento se llegarán a entrelazar, en un solo resultado, los dos tipos de variables obtenidas como producto de la investigación.

## **3. Desarrollo**

### **3.1. Etapas de evaluación**

#### **3.1.1. Indicaciones para una evaluación audiométrica**

Para garantizar que el ensayo audiométrico tenga un cierto nivel de credibilidad, se tomaron en cuenta las siguientes indicaciones (ISO 8253-2:2009, p. 17):

- a) Al músico expuesto se le avisó que tenía que guardar un reposo auditivo como mínimo 12 horas antes del examen.
- b) Al músico se le indicó que no debía presentar ningún tipo de afección a las vías respiratorias altas, gripe, resfriado u otra enfermedad que directa o indirectamente afectara temporalmente su nivel de escucha. Si se hubiera llegado a detectar cualquier tipo de afección que comprometiera el resultado buscado en la prueba, se habría procedido a cancelar definitivamente el ensayo audiométrico, o se lo habría reprogramado para otra fecha en la que el paciente ya se encontrara en condiciones normales para brindar resultados reales, sin la intervención de factores temporales.
- c) El músico no debió haber tenido cambios bruscos de presión atmosférica 16 horas antes del examen.
- d) Se informó al músico que retirara cualquier objeto que se encontrara en sus orejas. Además, se le pidió que, si tuviese cabello largo, procediera a recogerse.

e) A cada músico se le realizó previamente un análisis. Adicionalmente, se le pidió llenar un cuestionario subjetivo que ayudó a reforzar los resultados obtenidos en los ensayos audiométricos.

### **3.1.2. Evaluación audiométrica**

La evaluación propiamente dicha inició con las indicaciones e instrucciones que se dio al músico:

- a) Se comenzó enviando un tono puro a los auriculares del músico.
- b) Para evaluar a qué nivel presión sonora el músico lograba percibir el sonido enviado, se le pidió que levantara la mano del lado del oído estudiado, cada vez que lograra escuchar por primera vez el sonido.
- c) Se le pidió al músico que se acomodara los auriculares para que no existiera ningún tipo de molestia que pudiera influenciar los resultados esperados.
- d) Se envió un tono de prueba al músico para garantizar que el equipo se encontrara funcionando según lo esperado; además, con ello se familiarizó al músico con este tipo de ensayo audiométrico.
- e) Se le pidió al músico que durante la prueba audiométrica evitara realizar movimientos bruscos, para evitar ruidos ajenos a la medición. También se le pidió que guardara silencio durante el ensayo audiométrico.
- f) Se respondió cualquier tipo de duda que el músico pudiera tener durante el procedimiento realizado.

### **3.1.3. Procedimiento durante la evaluación**

El estudio audiométrico inició por el oído que el músico señalara subjetivamente como aquel con el que escuchaba mejor.

Se obtuvieron los umbrales de audición utilizando el método ascendente, que comienza a nivel infraumbral y asciende de 3 en 3 dB hasta que el sujeto indica que oye el estímulo.

Los umbrales auditivos se determinaron para cada frecuencia, incluyendo obligatoriamente las frecuencias de 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 , 8000 y 16000 Hz.

#### **3.1.4. Medición del ruido en el lugar de práctica musical**

Para estimar la pérdida auditiva provocada por la exposición al ruido, se debe medir el nivel de exposición al ruido referido a una jornada laboral de ocho horas. “Las mediciones se las realizó directamente con un sonómetro integrador; por lo tanto no hacen falta cálculos para hallar el nivel de ruido equivalente continuo en los lugares de ensayo” (ISO UNE 74-023-92, p. 8).

Las mediciones del ruido generado durante una práctica musical en condiciones normales tienen como objetivo registrar valores de NPS que representen de cierta manera las condiciones en que las personas están expuestas a los mismos.

Con las mediciones realizadas en los lugares de ensayo, se buscaba determinar niveles de ruido equivalente para una jornada laboral de ocho horas durante cinco días a la semana.

La medición se realizó siguiendo los criterios establecidos en la norma UNE 74-022/2. Si se llegaban a captar niveles de ruido equivalente menores a 80 dBA, quedaban excluidos del presente trabajo, porque no tiene sentido buscar solución a un problema de exposición a ruidos elevados si estos se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la normativa de salud y seguridad ocupacional de la ciudad de Quito.

Al momento de realizar la medición del nivel diario equivalente, se utilizó un sonómetro integrador que, para efectos de su comparación con los límites o niveles considerados reglamentariamente, pudiera mostrar niveles equivalentes.

El sonómetro utilizado en la medición de ruido equivalente fue un sonómetro marca Cesva, modelo SC310, verificado mediante un calibrador acústico o sistema equivalente antes y después de cada medición o serie de mediciones.

Las mediciones se realizaron, siempre que fue posible, con la presencia de todos los músicos. El sonómetro fue colocado a la altura de las cabezas de los músicos, y dentro del recinto se procuró evitar lugares donde se pudieran generar ondas estacionarias.

Si la presencia del músico es necesaria, el micrófono del sonómetro se coloca preferentemente frente a su oído, a unos diez centímetros de distancia. Tanto el número como la duración de las mediciones se eligieron a partir del cuestionario subjetivo realizado, en el que se estableció que un músico ensaya, en promedio, dos horas al día con su banda.

En caso de que existiera la presencia de ruido impulsivo o fluctuante, las mediciones de ruido se llevaron a cabo según el mínimo de exigencias mencionadas en la norma ISO UNE 74-022/2 (p. 6).

El sonómetro contó con su respectivo calibrador acústico, específico para su determinado modelo, que además cumplió con las exigencias mínimas mencionadas en la norma de referencia (ISO UNE 74-022/2, p. 8).

#### **3.1.4.1 Puntos importantes que se tomaron en cuenta previo a la realización de la medición de ruido**

- Dado que durante los días en que se llevaron a cabo las mediciones acústicas hubo variaciones tanto de clima como de temperatura, fue necesario utilizar el calibrador del sonómetro integrador para asegurarse de que no intervinieran factores externos en los resultados de las mediciones de ruido y, así, se pudieran garantizar los valores obtenidos.

- Todas las baterías necesarias para los equipos de medición acústica fueron revisadas un día antes de llevar a cabo las mediciones de ruido, y cada vez que era necesario volver a calibrar el equipo.
- Si en algún caso, al comparar los valores obtenidos al momento de realizar la calibración, estos variaban entre el comienzo de la medición y su finalización, el ensayo era descartado, dado que no se estaban presentando resultados reales.

### 3.1.4.2. Puntos a tomar en cuenta durante la medición de ruido

1. Un ruido puede ser molesto tanto por su volumen como por su frecuencia; por lo tanto, el uso de protectores auditivos es necesario.
2. La intensidad del sonido se mide en decibelios (dB).
3. Como establece la normativa mencionada como referencia, para tener la idea de cómo es el comportamiento del ruido cuando hay varias fuentes sonoras ocurriendo a la misma vez, es necesario medir cada fuente por separado, con las demás apagadas.
4. La forma más fácil, práctica y confiable para medir ruido y nivel de ruido equivalente en un lugar de trabajo es utilizar un sonómetro integrador.
5. Si los valores varían muy poco, hay que tener en cuenta que se está empleando una escala logarítmica. Por lo tanto, si una medición aumenta en 3 dB, hay que saber que se está duplicando la energía sonora percibida por el sonómetro integrador.

**Tabla 2.** Niveles máximos permitidos de ruido equivalente

<b>Tiempo de exposición en horas</b>	<b>Nivel sonoro continuo equivalente (dBA)</b>
8	85
4	90
2	95
1	100

6. A partir de normativas extranjeras (UNE 74-023-92) y de la normativa local, lo común es tomar como referencia un nivel continuo equivalente de ocho horas de exposición a un nivel de ruido equivalente de 85 dBA.
7. Si se llegaran a detectar niveles superiores a los mencionados en la Tabla 2, a los músicos se les debe ofrecer protectores auditivos, ya que, por desconocimiento de la norma, lo más probable es que sigan interpretando su música durante la medición, sin utilizar protección auditiva.

### **3.2. Equipos para medir el ruido en el ambiente laboral**

El sonómetro tiene como principal función registrar en valores los diferentes niveles de sonido captados, lo que lo convierte en un instrumento muy importante para realizar mediciones acústicas. El sonómetro capta los sonidos de una manera que se aproxima a como lo captaría el oído humano, y entrega resultados de nivel de presión sonora en ponderación A, presentes en los recintos de ensayo musical.

Por lo general, un sonómetro se diferencia de otro por la calidad de su micrófono de medición, por el procesamiento de datos, por sus funciones adicionales, etc.

Como lo establece la normativa UNE 74-023-92, el sonómetro empleado para realizar estas mediciones fue calibrado mediante un calibrador acústico o sistema equivalente, antes y después de cada medición o serie de mediciones, con el fin de garantizar la exactitud de las medidas.

#### **3.2.1. Instrumentación**

Para medir directamente los niveles sonoros continuos equivalentes, se debe colocar al sonómetro en dBA.

El sonómetro que se utilizó en la medición fue el Cesva SC310 tipo 1, que cumple con todos los parámetros establecidos en la norma UNE 20-493.

- La ponderación en frecuencia que utiliza el sonómetro cumplió con lo establecido en la norma UNE 20-464.
- Se vigiló especialmente que el margen dinámico del sonómetro fuera suficiente para el tipo de medición que se iba a realizar. Además, se procuró que la capacidad de saturación y el ruido inherente del equipo fueran adecuados.
- “Al momento de realizar la medición de nivel equivalente ponderado A, se debe cuidar que la integración de la presión acústica ponderada A al cuadrado sea en períodos de tiempo adecuados” (UNE-74023, 1992).

#### **3.2.1.1. Sonómetros convencionales**

El sonómetro utilizado tuvo la ventaja de integrar los valores medidos durante una medición. Por lo tanto, al final de las mediciones entregó niveles de ruido equivalente continuo como un solo valor para cada banda de octava.

La ventaja de utilizar un sonómetro integrador es que se puede seleccionar un tiempo grande de promediación, inclusive horas, mientras que los sonómetros convencionales no cuentan con esta función.

Siempre y cuando el sonómetro integrador cumpla con las normas establecidas para calibración de sonómetros integradores (UNE 74-022/1, p. 5), se podrá emplear para hallar niveles equivalentes de ruido equivalente en recintos acústicos.

#### **3.3. Obtención del tamaño de la muestra**

Luego de revisar archivos existentes tanto en conservatorios de música como en universidades, no se ha podido encontrar un dato en concreto acerca de cuántos músicos existen en la ciudad de Quito que practiquen rock.

Se tomaron como base de datos los registros con que cuenta la página web [www.metallium.com](http://www.metallium.com), dedicada exclusivamente a dar información acerca de los géneros de música de rock y metal en todo el mundo. Aquí es por lo general donde se autorregistran todos los grupos de rock y metal, en forma gratuita.

En la sección Ecuador se pudo obtener un registro de 238 grupos de música de estos géneros en todo el país; de estos, 118 bandas pertenecen a la ciudad de Quito. Además, esta página web brinda un filtrado de información, con lo que se pudo conocer en promedio cuántos músicos, clasificándolos por instrumento interpretado, conforman una banda de rock en la ciudad de Quito, lo que dio como resultado lo siguiente:

- 1 vocalista<sup>1</sup>
- 1,3 guitarristas
- 1 bajista
- 0,74 bateristas<sup>2</sup>

Esto entrega que, en promedio, una banda de rock o metal en la ciudad de Quito está conformada por un total de 4,04 músicos. Al multiplicar este valor por las 118 bandas que se encuentran registradas en el portal web, se llega a un total de 478,32 músicos que se dedican a interpretar rock o metal en la ciudad de Quito, ya sea de manera profesional o como músicos aficionados.

A partir de la información anterior se puede obtener lo siguiente:

---

<sup>1</sup> Hay varias bandas que poseen dos guitarristas, pero la media aritmética indica que hay 1,3 músicos afines a este instrumento en cada banda.

<sup>2</sup> Este valor se justifica tomando como premisa que varios bateristas interpretan música rock en más de una banda.

**Tabla 3** Número de músicos por instrumento que interpretan rock en la ciudad de Quito

Instrumento interpretado	Número de personas
Vocalistas	118
Guitarristas	155
Bateristas	87
Bajistas	118

### 3.3.1. Determinación del tamaño de la muestra

De una población de 478,32 músicos de la ciudad de Quito, en la provincia de Pichincha, se deseaba tomar una muestra para someterlos a una audiometría y con ello tener una información adecuada, con un error estándar del 1,5% al 90% de confiabilidad.

Datos:

$$n = 478,32$$

$$se = 1,5 \% = 0,015$$

$$p = 90 \% = 0,9$$

$$s^2 = p(1 - p) = 0,9 (1 - 0,9) = 0,09$$

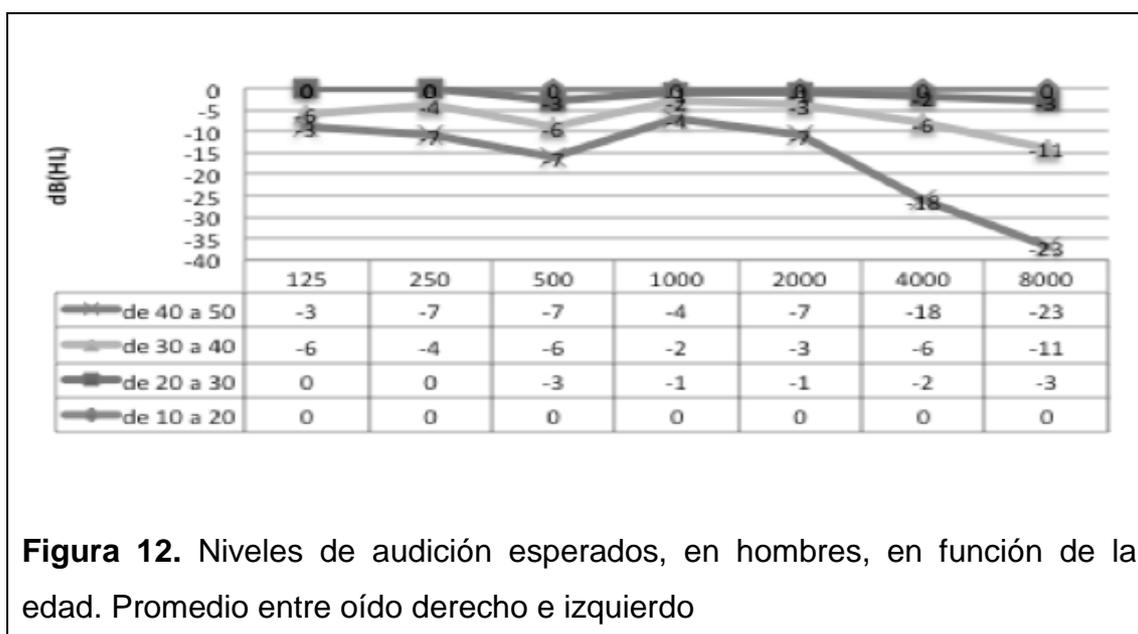
$$\sigma^2 = (se)^2 = (0,015)^2 = 0,000225$$

$$n' = \frac{s^2}{\sigma^2} = \frac{0,09}{0,000225} = 360 \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}} = \frac{360}{1 + \frac{360}{478,32}} = 197,32 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Con este resultado se procedió a realizar audiometrías a 200 músicos de la ciudad de Quito, con base en los criterios mencionados anteriormente.

Para determinar el nivel de umbral de referencia para el valor cero para cada banda de octava, en las gráficas audiométricas se utilizó la norma española UNE 74-023-92, en la que se establece el siguiente gráfico como niveles de SPL esperados o normales en personas otológicamente sanas, que no hayan sufrido ningún trauma acústico y que cuenten con una edad comprendida entre los 18 y los 20 años.



**Figura 12.** Niveles de audición esperados, en hombres, en función de la edad. Promedio entre oído derecho e izquierdo

**Tabla 4.** Valores de nivel de referencia cero que se utilizaron en la audiometría

Frecuencia (Hz)	Umbral de audición, curvas Fletcher-Munson, para una persona otológicamente sana con 18 años de edad, SPL (dBA)
125	45,5
250	24,5
500	11
1000	6,5
2000	8,5
4000	9
8000	9,5

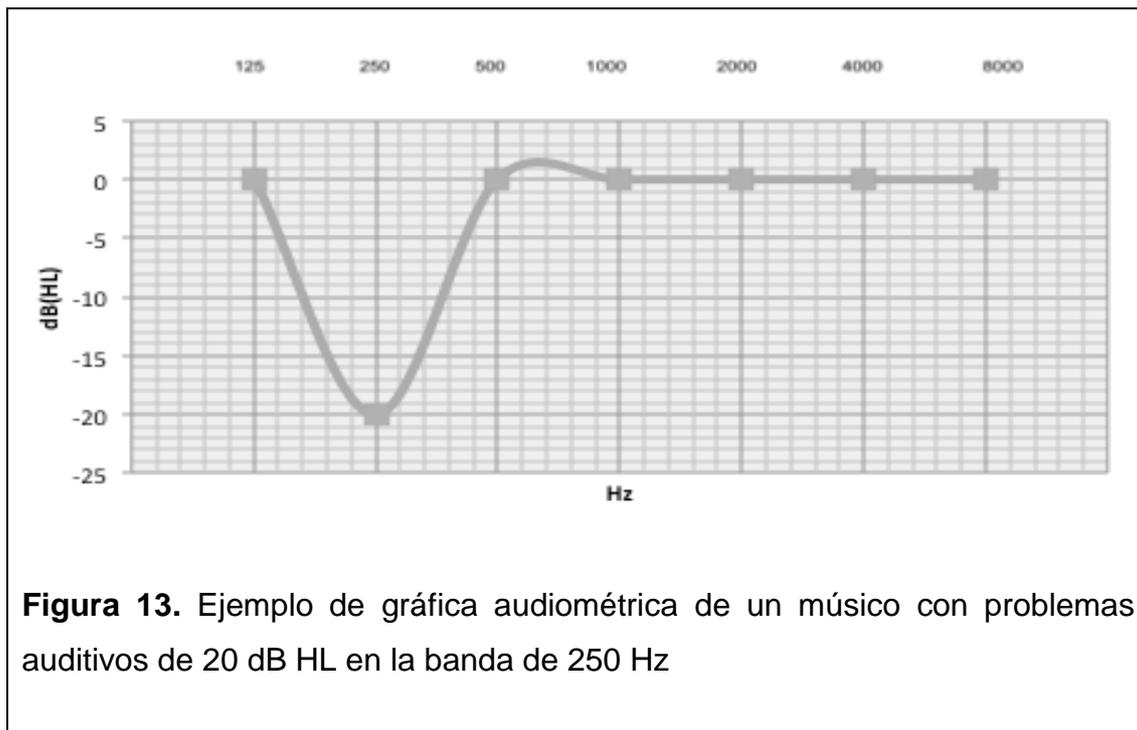
Los valores expuestos en la Tabla 4 fueron tomados como cero de referencia en las gráficas audiométricas, utilizando la escala logarítmica dB HL.

Los valores de desplazamiento del umbral de audición humana para cada músico están tabulados de forma negativa para cada banda de octava.

**Tabla 5.** Valores de cero de referencia de dBA a dB HL

<b>Frecuencia</b>	<b>dBA</b>	<b>dB HL</b>
125	45,5	0
250	24,5	0
500	11	0
1000	6,5	0
2000	8,5	0
4000	9	0
8000	9,5	0

Entonces, de aquí en adelante, cada vez que se haga referencia a gráficas o valores audiométricos, se deberá tomar en cuenta lo expuesto en la Tabla 5. Por ejemplo, si decimos que una persona logra percibir un tono puro de 500 Hz con un nivel de 44,5 dBA, deberá asumirse que, como 24,5 dBA es el cero de referencia, el nivel de pérdida auditiva en dB HL será igual a  $-20$  dB HL. A continuación se puede visualizar este ejemplo en una gráfica.



Por lo general, cuando una persona presenta problemas de audición, la manifestación audiométrica típica es una pérdida muy notoria de la sensibilidad del oído alrededor de la banda de octava de los 4000 Hz. Como normalmente las voces humanas están por debajo de esta banda de frecuencia, el sujeto no puede percibir el daño en su audición, sino que solo detecta este problema cuando el daño ha causado un grado mayor de desplazamiento de su umbral auditivo. “Lehnhardt explicó este fenómeno basándose en el hecho de la distribución asimétrica de la amplitud de desplazamiento de la membrana basilar” (Larregui, 2011, p. 14).

Dado que la zona de los 3000 a los 6000 Hz es la más propensa a sufrir deterioro (pues en ella el oído humano es más sensible), es en esta zona donde el oído necesita menores cantidades de energía para poder percibir un sonido como tal.

En la zona conversacional de audición, el incremento de energía de un sonido se hará más notorio; por lo tanto, allí es donde se comienza a notar el deterioro auditivo.

### **3.3.2. Valoraciones audiométricas**

Posterior al proceso de audiometrías, es necesario poder mostrar y analizar los resultados obtenidos como producto de los ensayos audiométricos. Los datos fueron tabulados y luego clasificados para determinar el estado auditivo de los instrumentistas. Para poder tener claro el estado de audición de los músicos, se utilizaron los audiogramas y los resultados de las audiometrías, que permitieron obtener resultados utilizando los criterios de valorización ELI y SAL.

#### **3.3.2.1. Cálculo del índice ELI**

“ELI (Early Loss Index) se define como un cálculo que se realiza para confirmar o diferenciar, a partir de los umbrales auditivos del sujeto obtenidos mediante un audiograma confiable, a los posibles portadores de pérdida auditiva inducida por ruido ocupacional, sin la influencia de la pérdida auditiva esperada por la edad” (Olmo, 2013, p. 2).

Básicamente, al utilizar el índice ELI, lo que se busca es poder identificar, en la banda de los 4 kHz, qué nivel de desplazamiento existe en el sujeto que es partícipe del ensayo audiométrico. Se elige la banda de los 4 kHz porque es donde nuestro oído es más sensible; cuando existe un daño en el oído humano por exposición a niveles sonoros altos, esta banda es normalmente la primera en la que presentan complicaciones. El resultado se expresa en dBA.

En la siguiente tabla se muestra cómo se clasifica el nivel de desgaste auditivo, haciendo referencia al nivel de desplazamiento del umbral auditivo que ha sufrido el sujeto en los 4 kHz, además del grado que el índice ELI asigna para cada valor de desplazamiento del umbral auditivo.

**Tabla 6.** Grado de clasificación ELI según desplazamiento del umbral

<b>PÉRDIDA AUDIOMÉTRICA CORREGIDA (dBA)</b>	<b>GRADO ELI</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
< 8	A	Normal-Excelente
8 a 14	B	Normal-Buena
15 a 22	C	Normal
23 a 29	D	Sospecha de sordera
> 30	E	Claro indicio de sordera

### 3.3.2.2 Cálculo del índice SAL

Conocemos por la aplicación del índice de pérdida ELI el grado de trauma acústico, pero además interesa conocer si los músicos tienen una salud auditiva normal bien sea en las frecuencias conversacionales o en su audición en general; por lo tanto, en vez de enfocarse en las frecuencias de 4.000 Hz o sus vecinas, nos fijaremos en las frecuencias conversacionales o sea las 500, 1.000 y 2.000 Hz.

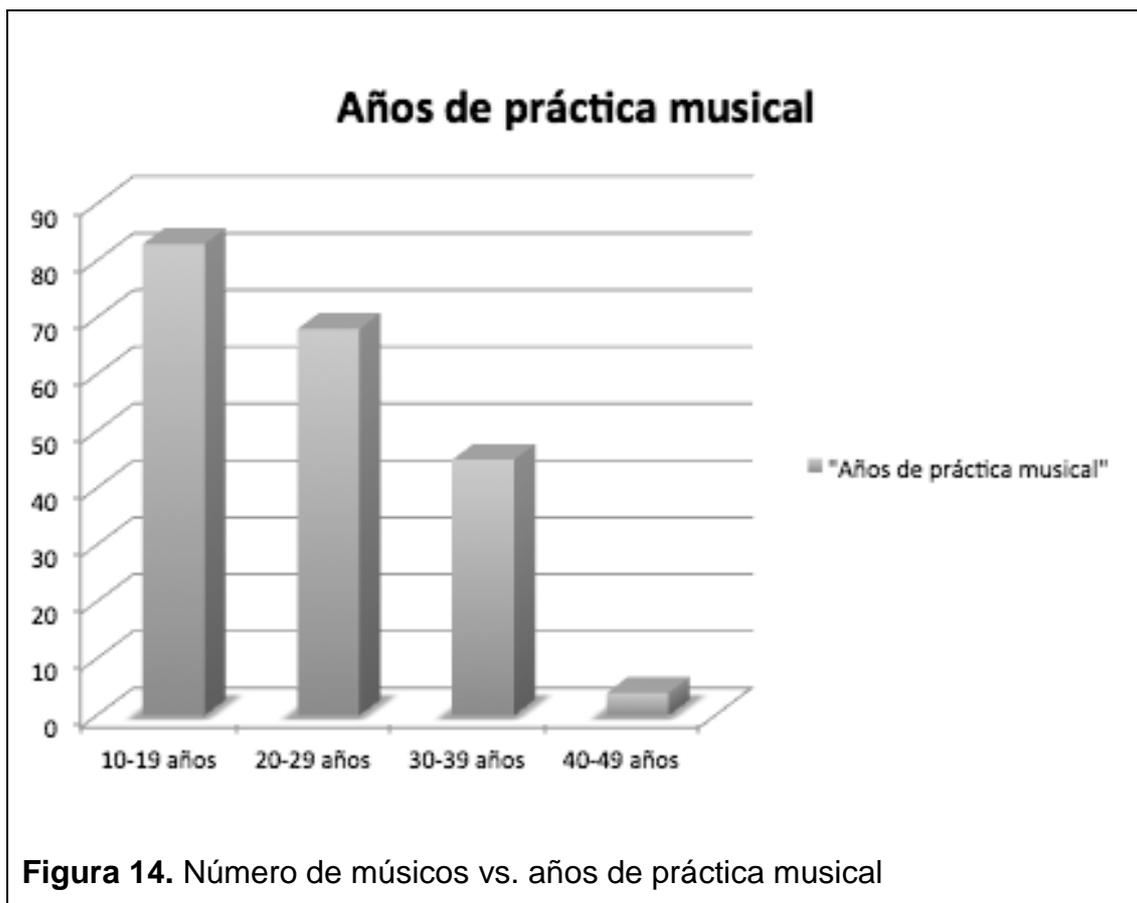
“El índice SAL corresponde a la media aritmética de la pérdida auditiva en dB de las tres frecuencias conversacionales (500 Hz , 1000 Hz y 2000 Hz) y se establece una clasificación en escala que va desde SAL-A, dentro de los límites normales sin dificultad en la conversación baja, hasta SAL-G sordera total, no puede oír sonido alguno ni siquiera con audífonos”(Santos, 2010, p. 5).

**Tabla 7.** Grado de clasificación índice SAL según desplazamiento del umbral

<b>Grado</b>	<b>SAL (dB)</b>	<b>Clase</b>	<b>Características</b>
A	< 16	Normal	La audición esta dentro de los límites normales
B	16 - 30	Casi Normal	Dificultad para oír voces a un nivel bajo
C	31 - 45	Ligero empeoramiento	Dificultad si no se levanta la voz
D	46 - 60	Serio empeoramiento	Dificultad incluso si se levanta la voz
E	61 - 90	Grave empeoramiento	Necesita de una voz amplificada para poder escucharla
F	90	Profundo empeoramiento	No puede entender una conversación amplificada
G	Sordera total		No escucha nada

#### **4. Resultados y discusión**

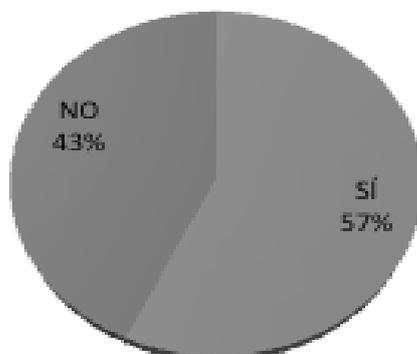
Una vez finalizado el proceso de toma de valores audiométricos y de medición de niveles de presión sonora a los que los músicos están expuestos durante el período de práctica musical, es necesario analizar los resultados de tal manera que se pueda obtener una visión más clara acerca del estado actual de los participantes del procedimiento, dando lugar a la implementación de una aplicación de carácter predictiva sobre el estado auditivo de los umbrales de audición. Posteriormente se podrán plantear recomendaciones sobre el cuidado auditivo en los músicos.



Como se puede visualizar en la Figura 14, el número de personas que practican el género del rock disminuye con el transcurso de la edad. El rock tiene una mayor acogida en personas entre los 10 y los 29 años, lo que las convierte en el grupo con mayor incidencia en este trabajo. Además, con el grupo con mayor riesgo de presentar daños auditivos en este estudio, aunque no sean de las magnitudes del conjunto de personas restantes.

Existe un grupo minoritario en el presente trabajo que muestra a personas adultas de entre 40 y 49 años. Este grupo (que ocupa un 4% del universo de músicos que se planteó para realizar el estudio) tiene una gran posibilidad de presentar un daño mayor que las demás personas, debido a que el tiempo de exposición es mayor en años.

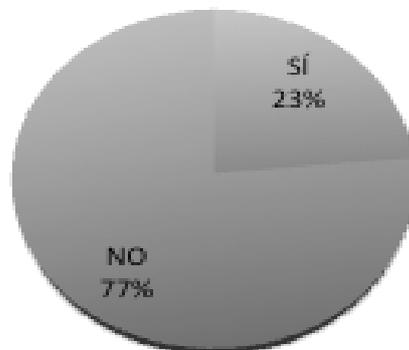
## Hipoacusia inducida en músicos



**Figura 15.** Número de músicos con hipoacusia, sin aplicar los descuentos por edad

Claramente, se muestra que existe un número considerable de músicos que presentan algún tipo de daño auditivo. En este gráfico se encuentran todas las personas que han obtenido en el resultado de la audiometría valores iguales o mayores a 23 dBA de diferencia con respecto al umbral de audición para una persona joven de 18 años, que es, como lo enuncia el índice ELI, donde existe un claro indicio de sordera. Estos valores fueron tomados de la norma española ISO UNE-EN 7029, en su apartado sobre distribución estadística de los umbrales de audición en función de la edad.

## Hipoacusia inducida en músicos



**Figura 16.** Hipoacusia inducida en músicos, aplicando los descuentos por edad.

Dado que la normativa establece un tipo de compensación en dBA de los valores del umbral de audición según la edad que tenga la persona sometida a la audiometría, el número de personas disminuye significativamente en un 31%; es decir, menos de la tercera parte de las personas sometidas al procedimiento presentan un daño en su audición con valores menores a  $-23$  dB HL.

**Tabla 8.** Clasificación según grado de hipoacusia para el oído izquierdo, sin aplicar descuento por edad

	Oído Izquierdo					
	Normal	Leve	Moderada	Moderada a severa	Severa	Profunda
Hipoacúsicos (200 individuos)	69	76	37	15	3	0

Existe una mayor cantidad de músicos que presentan un daño leve en su oído izquierdo, es decir, con valores de aproximadamente 20 dBA de alteración en su umbral de audición. También se evidencia un grupo, de menor tamaño que el primero, que se considera que son personas que gozan de una buena salud auditiva, independientemente de su edad.

El grupo que tiene una menor presencia es el de personas con un daño considerable en su audición, es decir, de más de 30 dBA de desplazamiento de su umbral de audición. Dicho en otras palabras, estas personas presentan un claro indicio de sordera.

**Tabla 9.** Clasificación según el grado de hipoacusia para el oído derecho, sin aplicar descuento por edad

	Oído Derecho					
	Normal	Leve	Moderada	Moderada a severa	Severa	Profunda
Hipoacúsicos (200 individuos)	64	74	37	23	2	0

En el oído derecho se presenta algo muy similar al comportamiento obtenido en el oído izquierdo: la mayor parte de los músicos se encuentran en un nivel de audición normal o con daño leve, mientras el grupo restante, que es relativamente pequeño, presenta un daño en su audición con más de 30 dB HL de desplazamiento de su umbral de audición.

**Tabla 10.** Clasificación según grado de hipoacusia para el oído izquierdo, aplicando descuento por edad

		Oído izquierdo					
		Normal	Leve	Moderada	Moderada a severa	Severa	Profunda
Hipoacúsicos (200 individuos)		134	34	21	9	2	0

Una vez que se aplicaron los valores de compensación presentes en la norma española ISO UNE-EN 7029 —en la que se establece la desviación del umbral de audición que se puede esperar que sea superada por una fracción determinada en una población otológicamente normal—, los valores de desplazamiento cambian significativamente: más de un 77% de los músicos se encuentran con audición normal o con daño leve, y, consecuentemente, el número de personas con daño auditivo significativo disminuye.

**Tabla 11.** Clasificación según el grado de hipoacusia para el oído derecho, aplicando descuento por edad

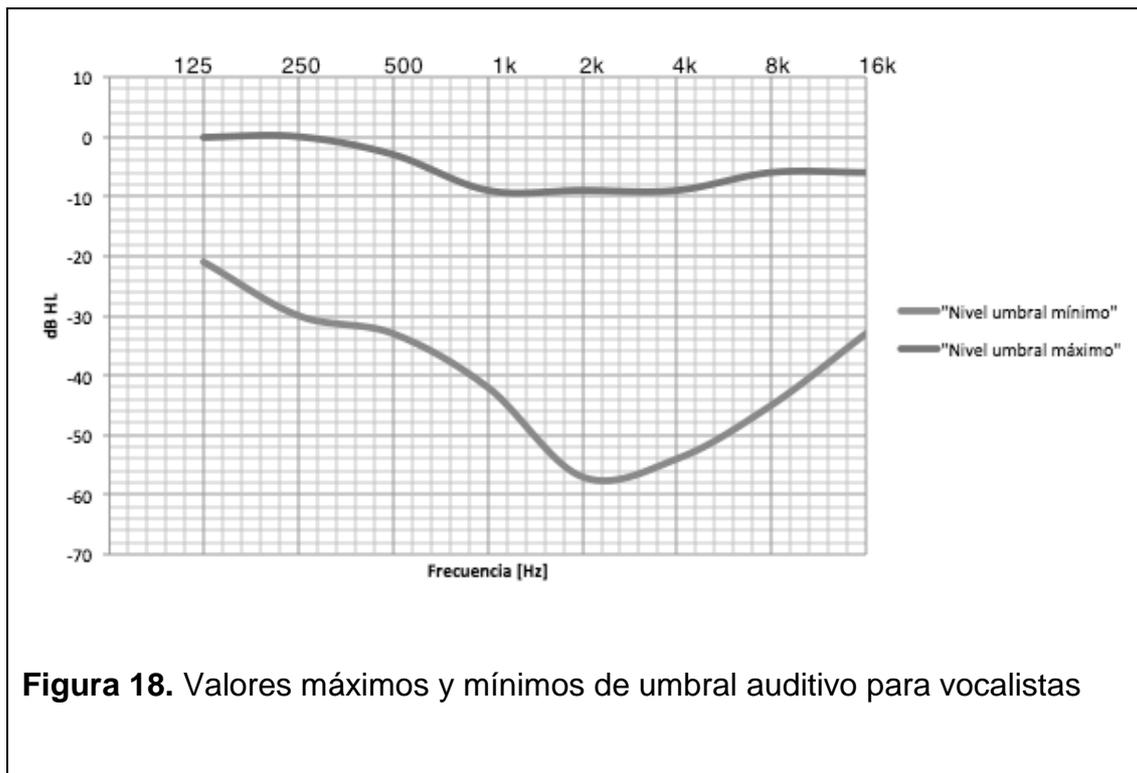
		Oído derecho					
		Normal	Leve	Moderada	Moderada a severa	Severa	Profunda
Hipoacúsicos (200 individuos)		129	32	26	11	2	0

De la misma manera disminuye el número de personas con daño auditivo debido a la compensación de valores por edad, pero existe un menor número de personas con el oído derecho en buen estado de audición, en comparación al oído izquierdo.

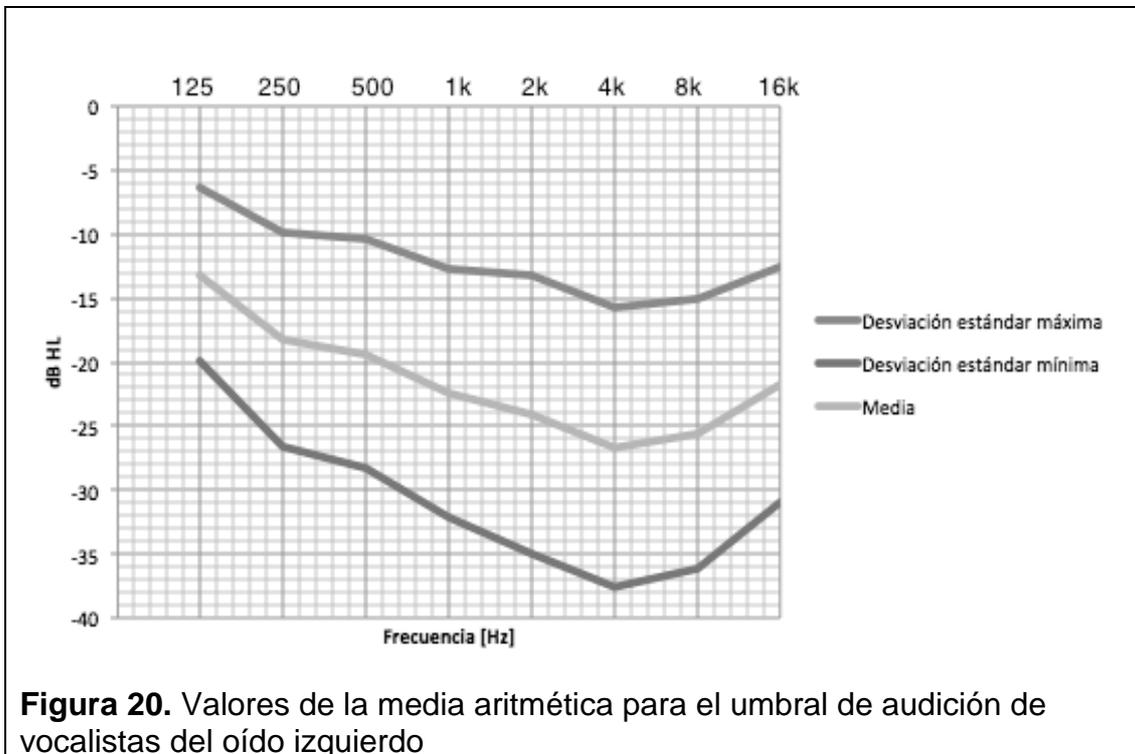
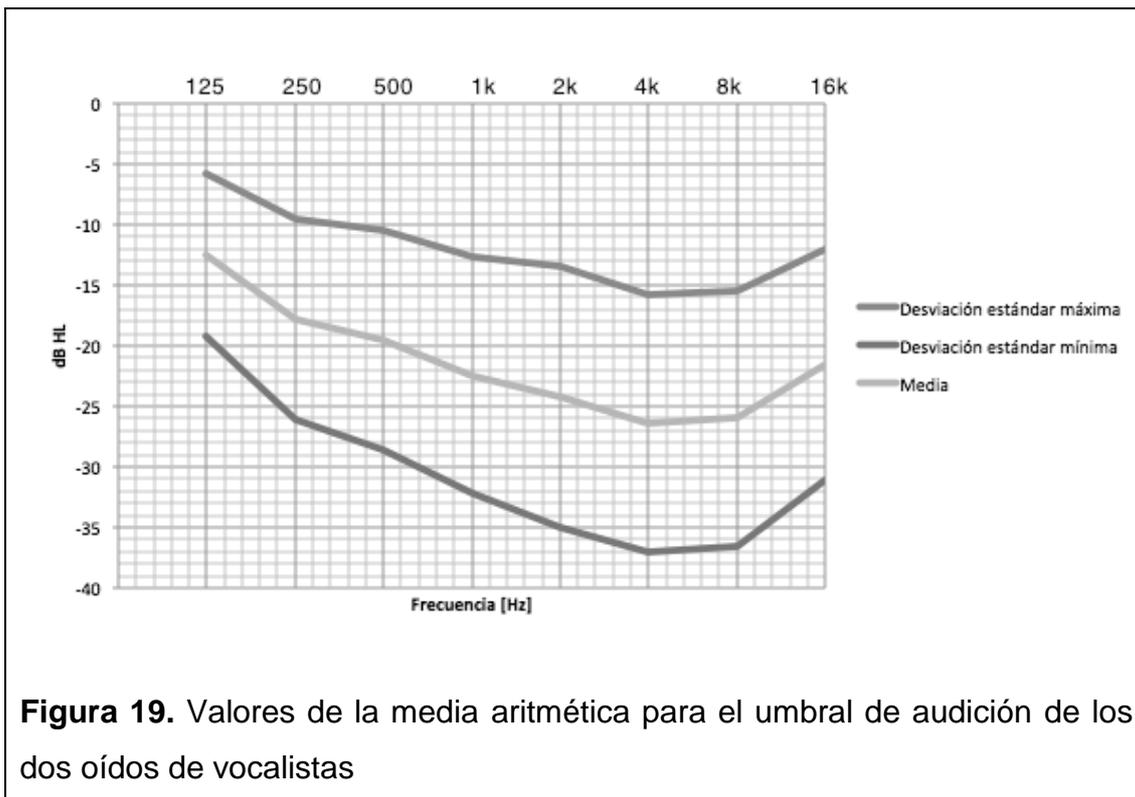


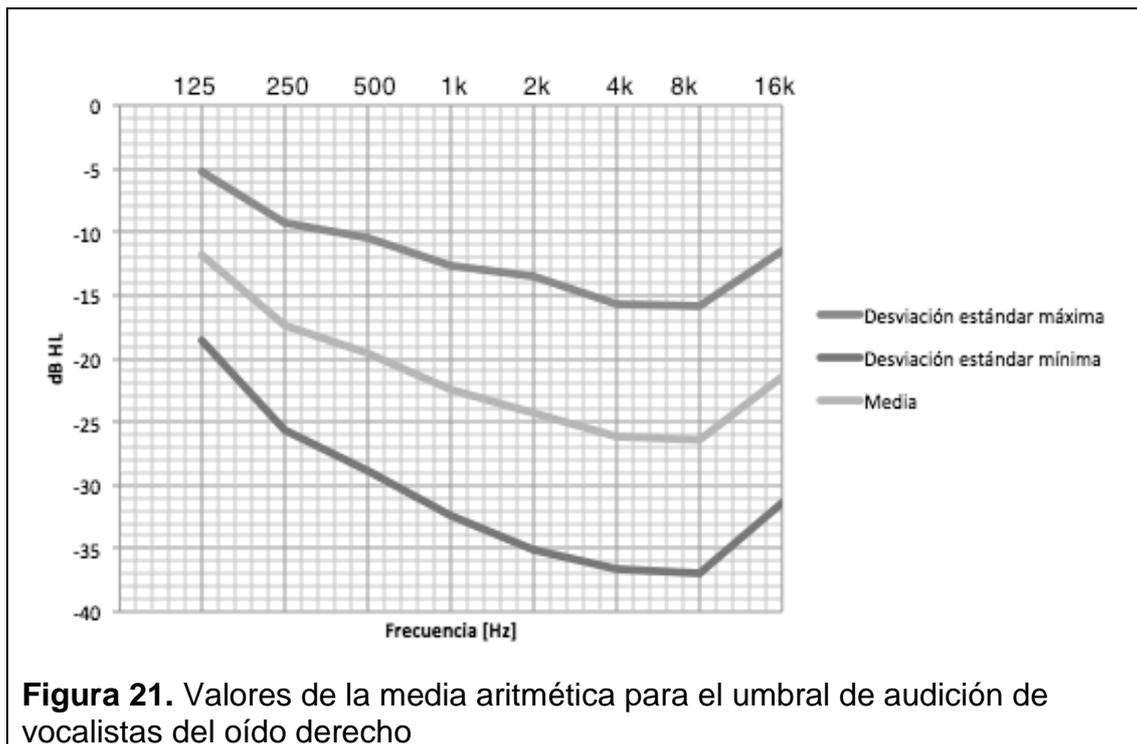
Se encuentra un claro deterioro en las frecuencias medias-altas, especialmente en la banda de frecuencia de los 4 y 8 kHz. Este valor resulta muy familiar debido a que, en gran medida, los instrumentos musicales utilizados en un grupo de rock —voz humana, guitarra eléctrica, batería y bajo eléctrico en sus armónicos— incluyen estas bandas dentro del espectro de frecuencias que son capaces de reproducir.

Por lo tanto, la banda de los 4 kHz y sus bandas contiguas, superiores e inferiores, deben ser aquellas a tomar en cuenta para tratar el problema del deterioro auditivo. Mientras tanto, en frecuencias bajas y medias no existe un número representativo de daño auditivo, cabe recalcar que estos valores no tienen el descuento por edad.

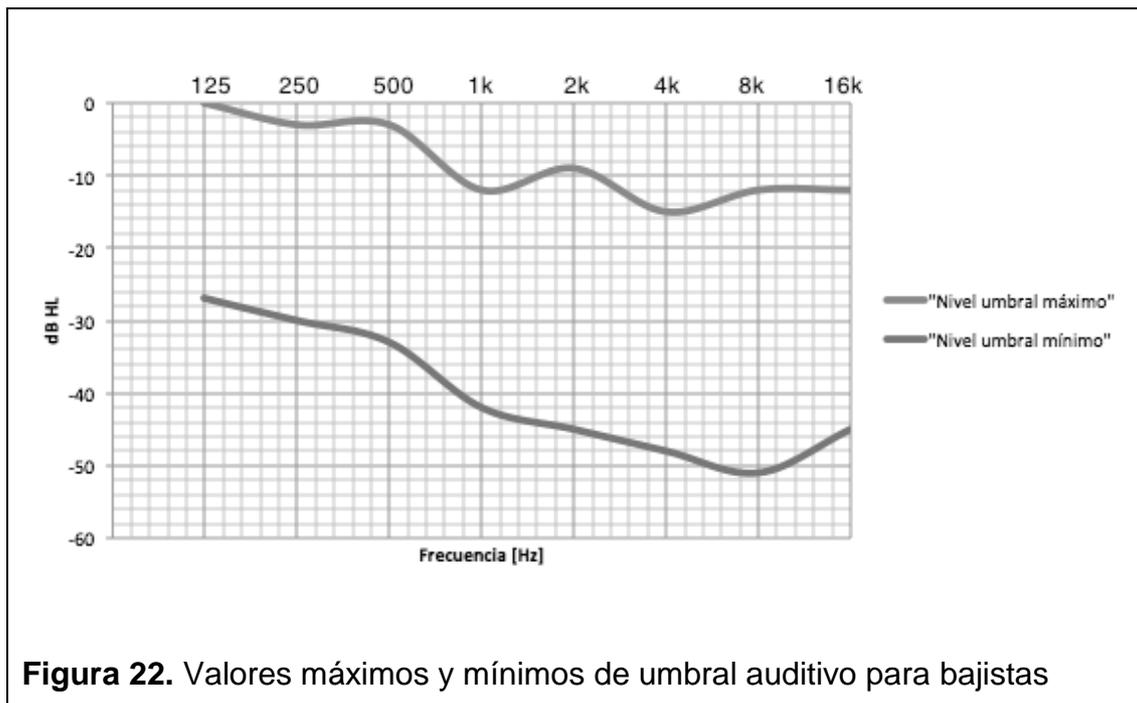


Como se puede visualizar en la Figura 18, existe una gran diferencia de valores entre las bandas de frecuencias medias y medias-altas. Esto se debe a que los vocalistas tienen como nota fundamental una frecuencia de entre 87 y 392 Hz, y llegan a generar armónicos entre los 1 y los 12 kHz. Además, la gráfica muestra a todas las personas que participaron del proceso de audiometrías, lo que da lugar a que la edad juegue un papel importante a la hora de determinar valores mínimos y máximos del nivel de desplazamiento del umbral de un vocalista.

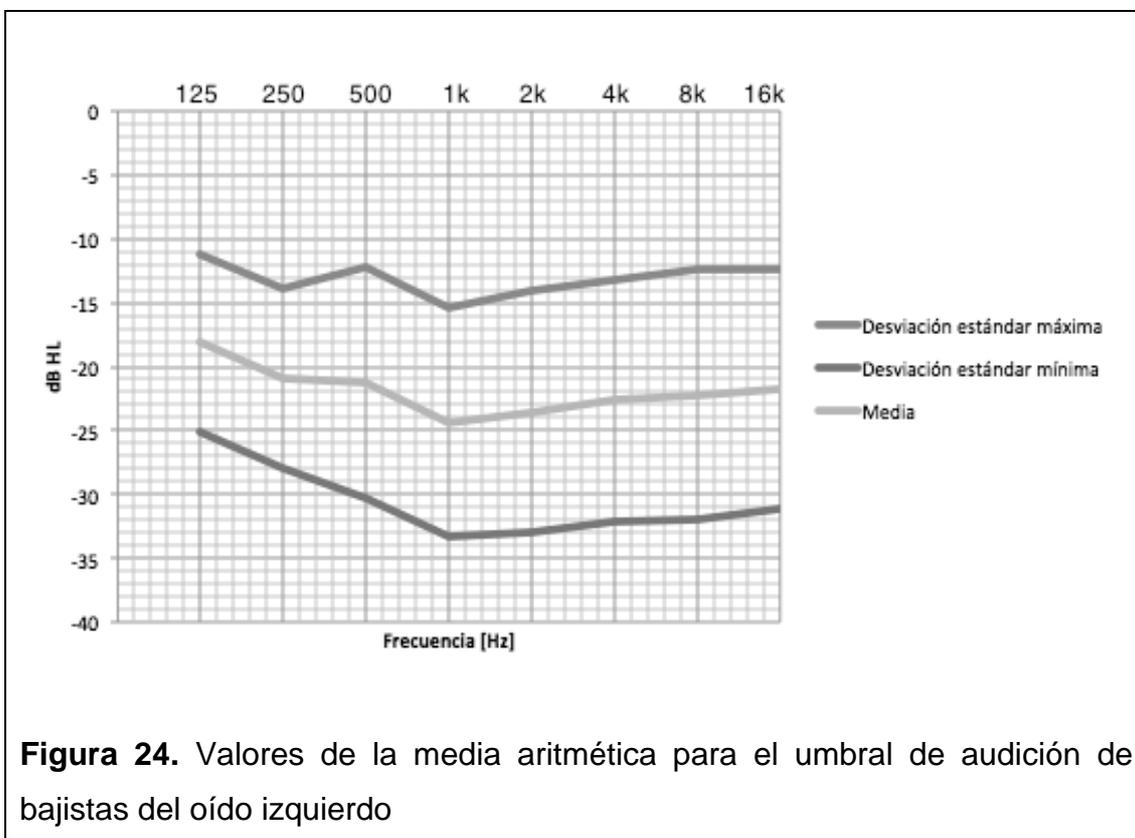
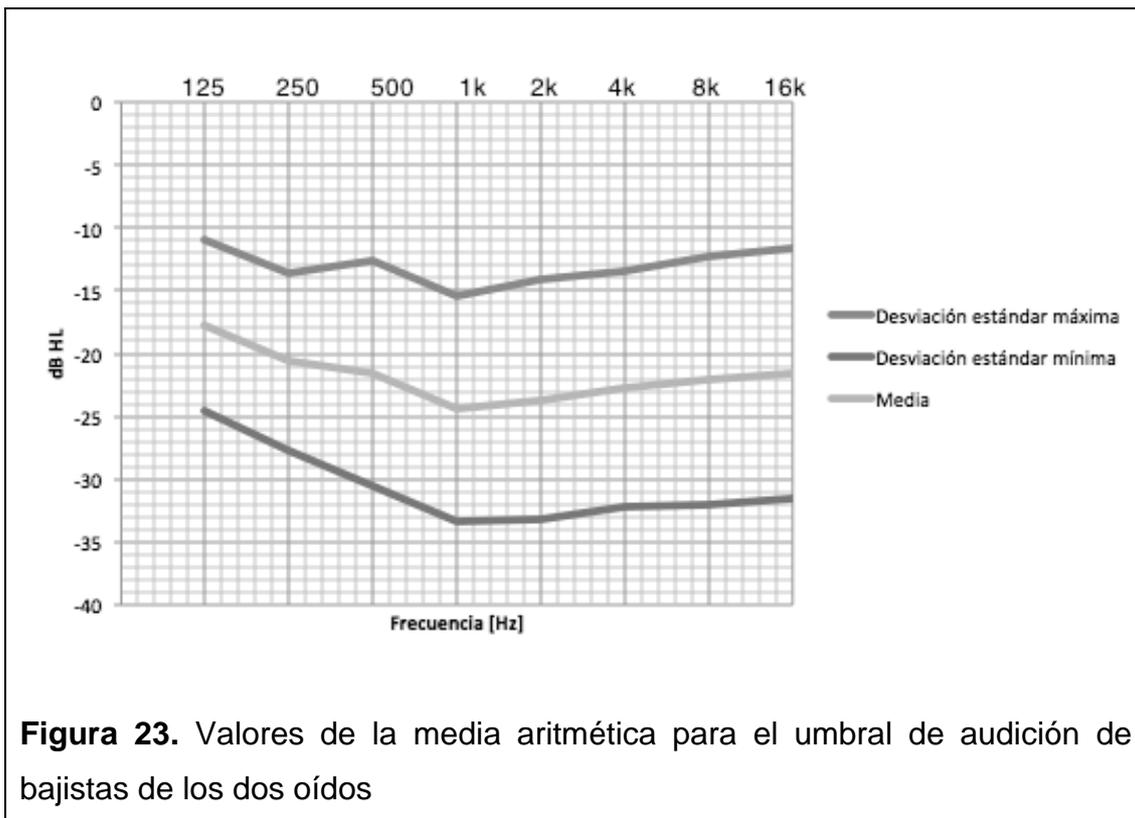


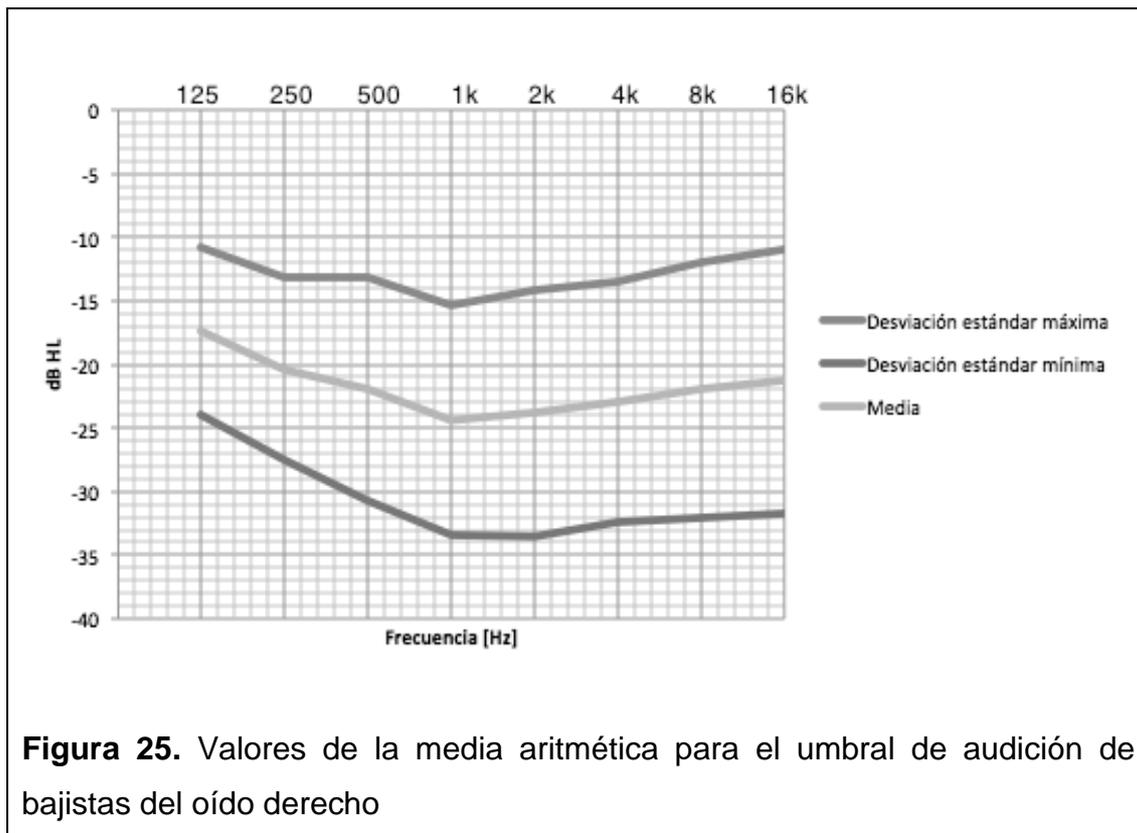


Los valores de desplazamiento de umbral de audición en frecuencias bajas no muestran un deterioro alarmante como producto de la edad de los participantes. Se nota un deterioro mayor en el rango de las frecuencias altas, sobre todo en las bandas de 4 kHz y 8 kHz.

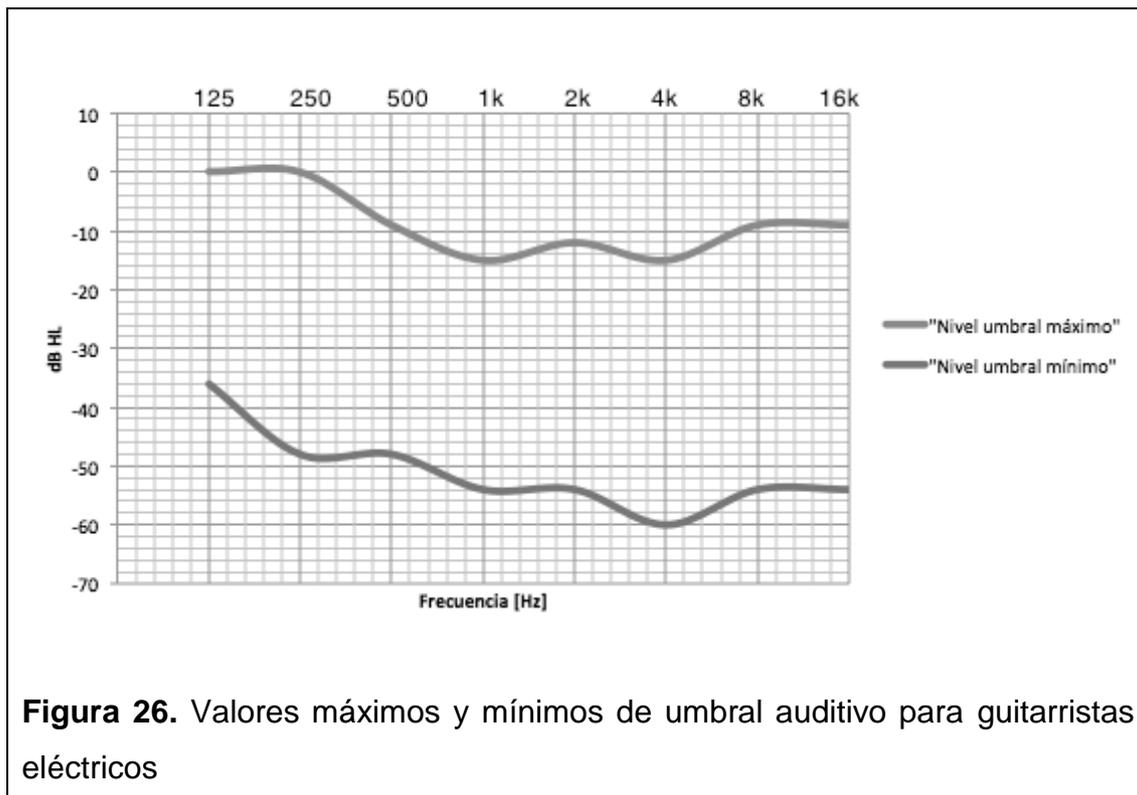


Tanto el valor de umbral mínimo como el máximo de desplazamiento de umbral de audición de los bajistas presentan un comportamiento similar en el espectro de frecuencias a lo largo de todas las bandas de octava, con una diferencia de aproximadamente 30 dBA entre valores mínimos y máximos.



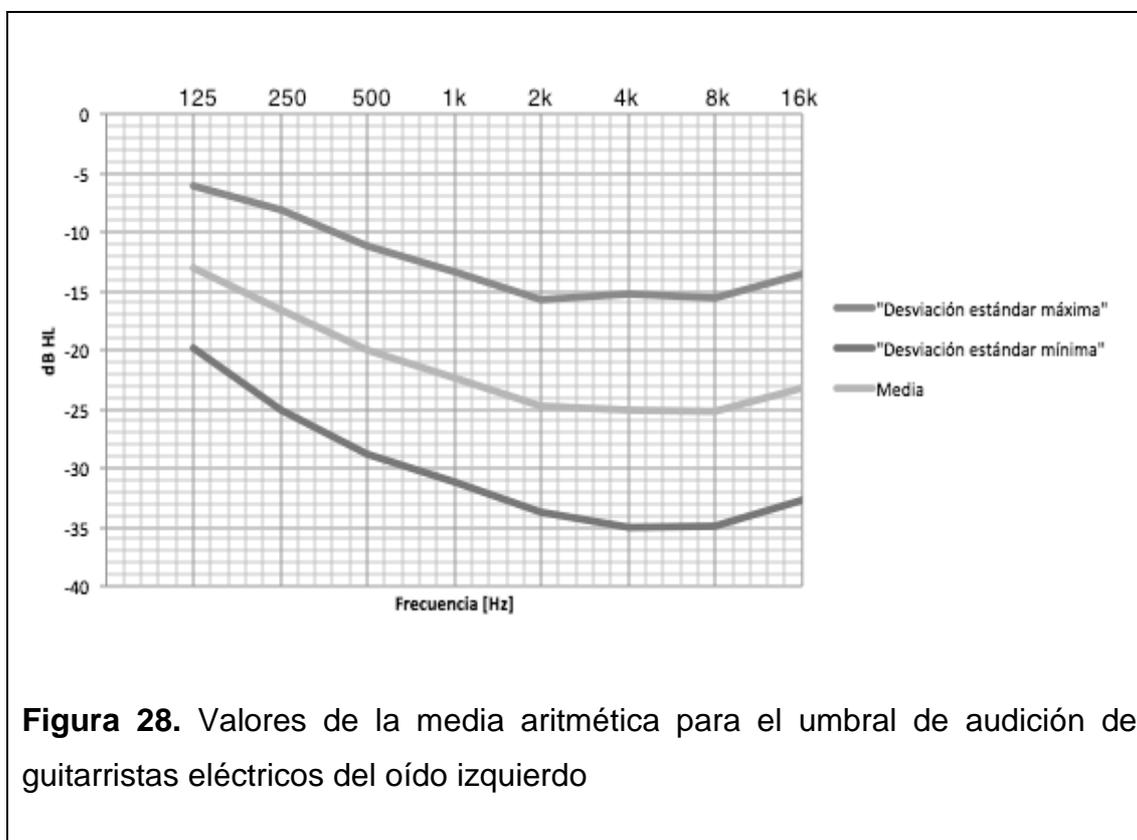
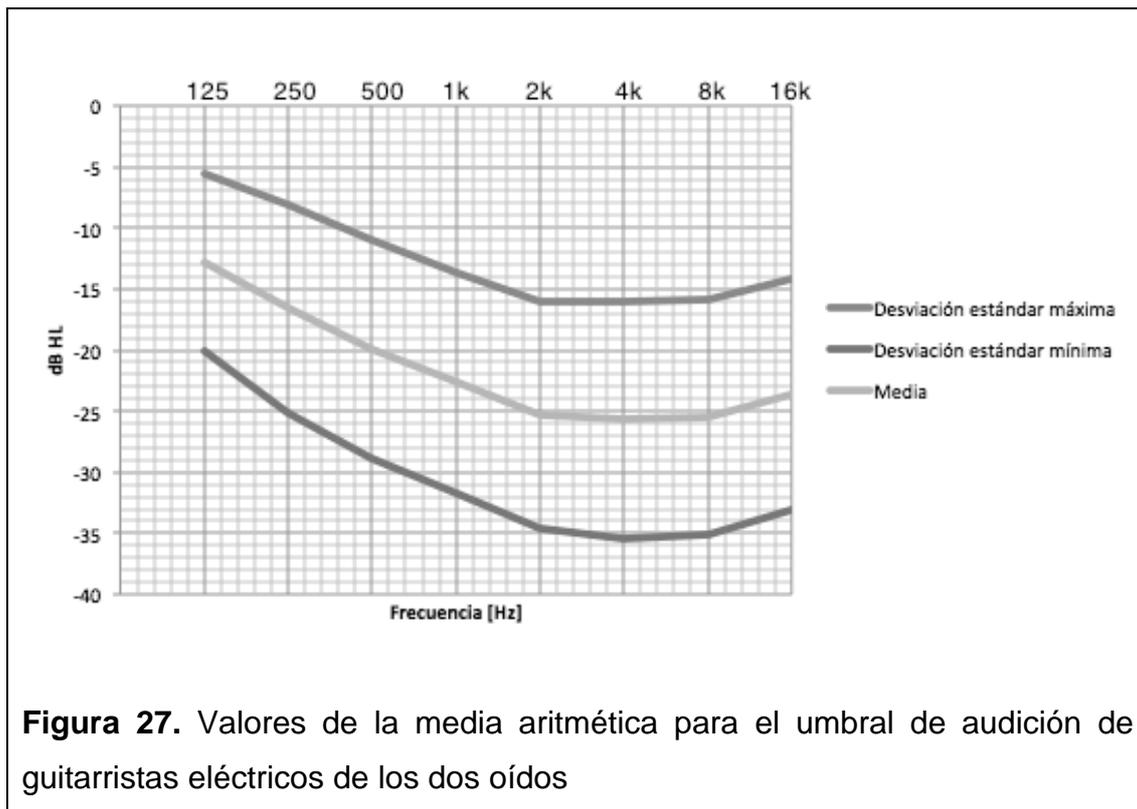


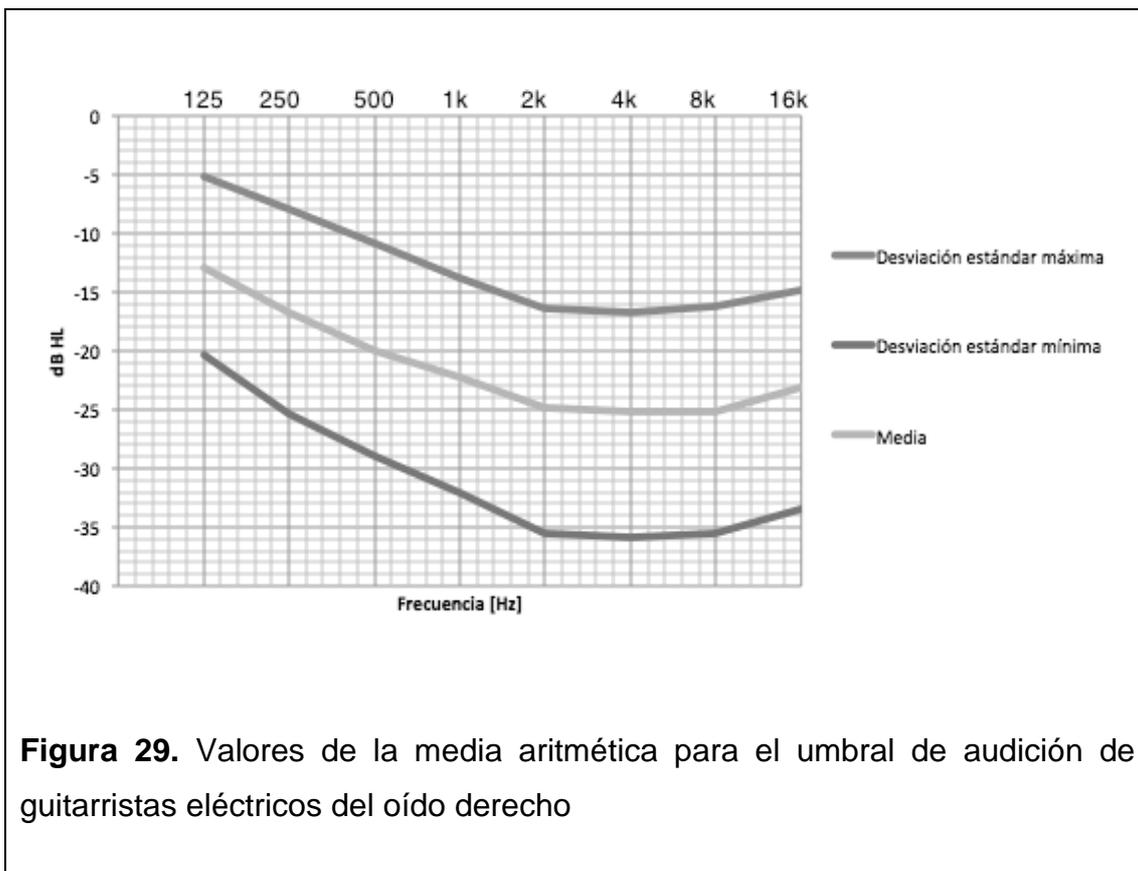
A diferencia de los demás instrumentistas, existe un comportamiento de cierta manera más uniforme en la respuesta de frecuencia del oído de los bajistas, aunque se nota un claro desgaste en las bandas de las frecuencias bajas-medias. Esto es, lógicamente, como producto de la exposición al rango de frecuencias en que más se desempeña este instrumento.



**Figura 26.** Valores máximos y mínimos de umbral auditivo para guitarristas eléctricos

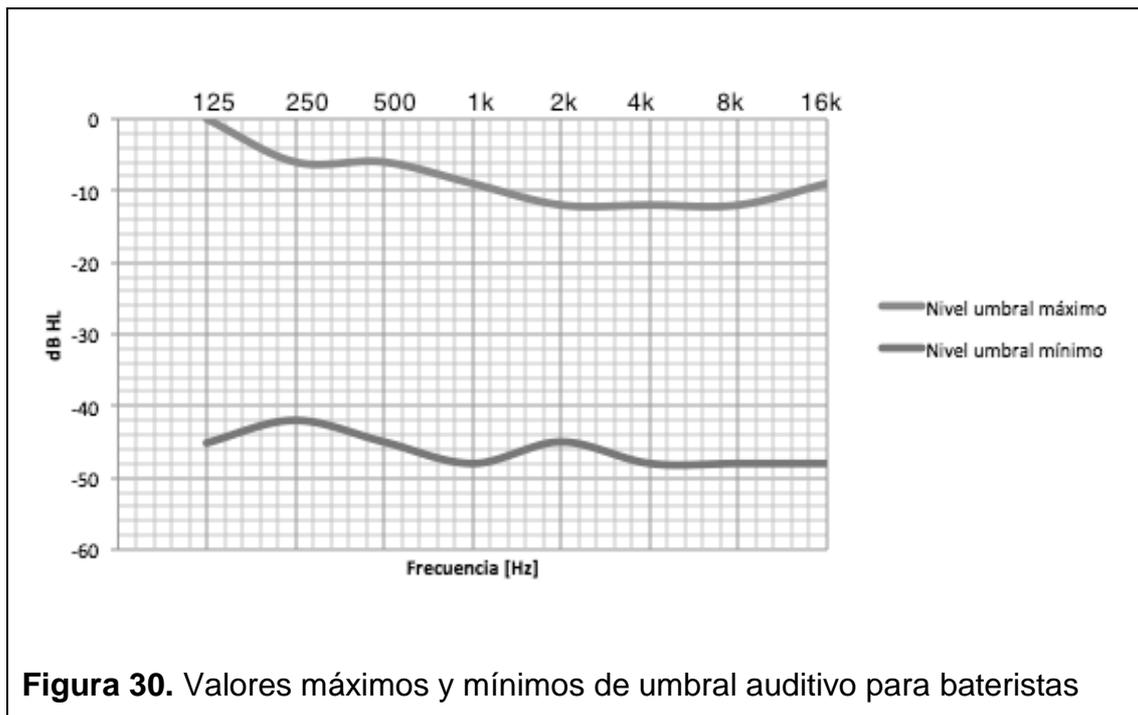
La diferencia entre los mínimos y los máximos de los valores de desplazamiento del umbral es relativamente mayor que en los casos anteriores, sobre todo en las frecuencias medias-altas, que es donde se comienza a notar el deterioro auditivo como producto de la edad y la exposición a niveles altos de ruido. Esto es una posible consecuencia de los años de práctica sin haber ejercido ningún tipo de cuidado auditivo, que fueron algunos de los casos que se enuncian en la Tabla 8.





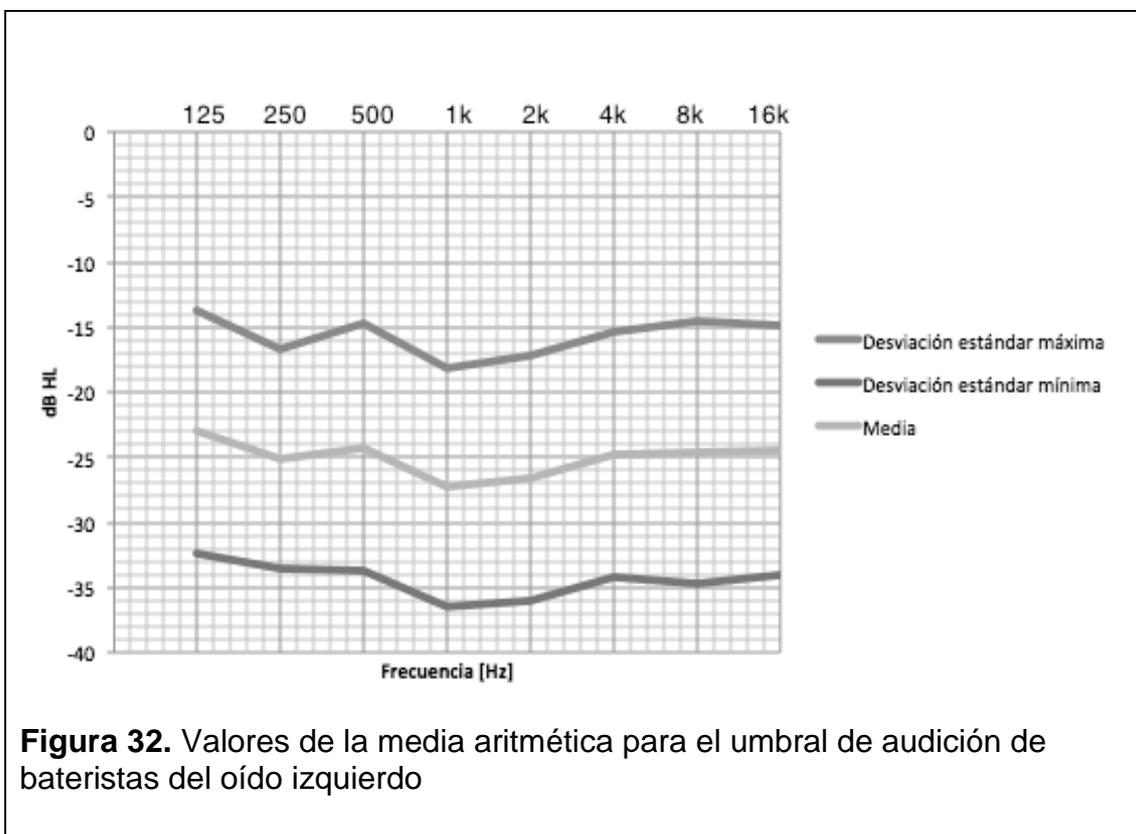
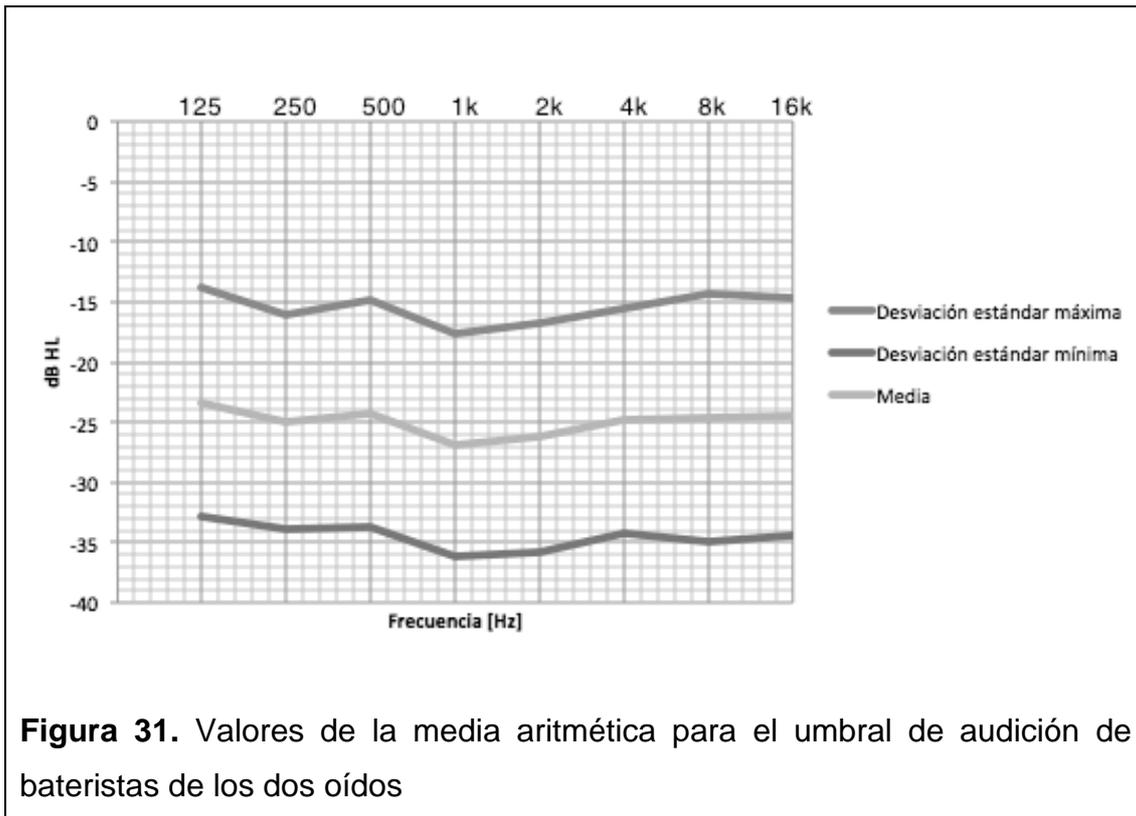
**Figura 29.** Valores de la media aritmética para el umbral de audición de guitarristas eléctricos del oído derecho

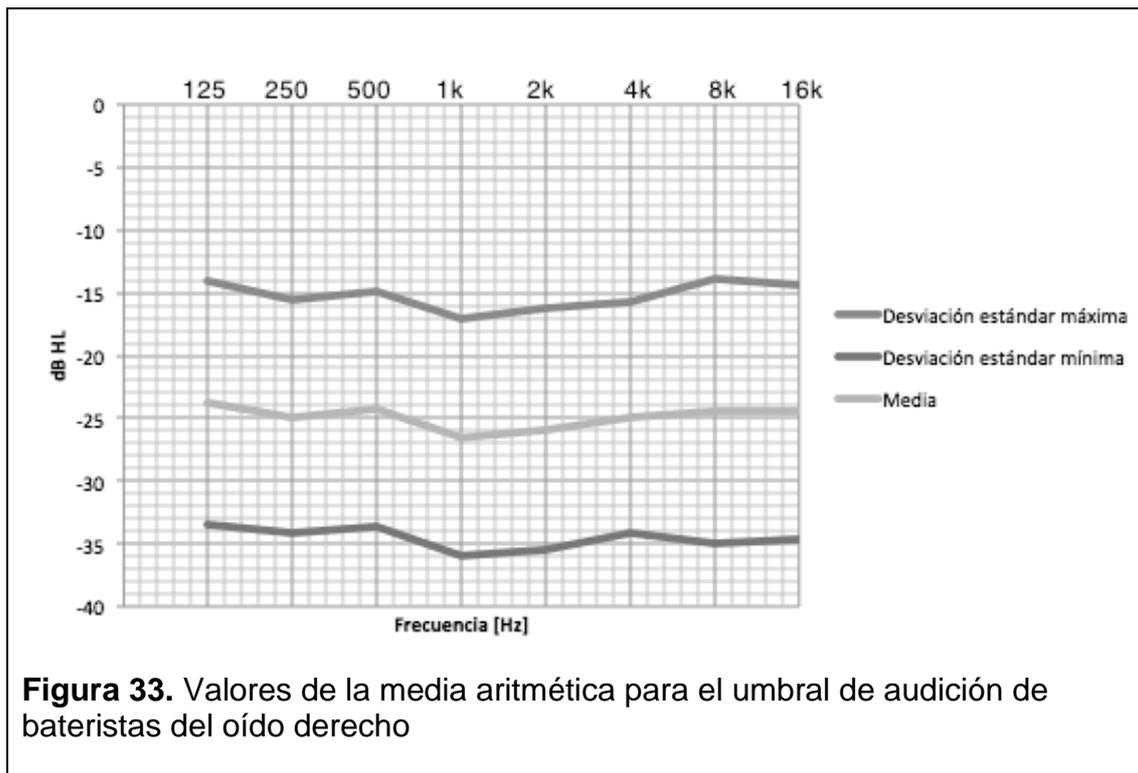
Se evidencia un claro deterioro en las frecuencias altas, indicio de que la respuesta de frecuencia de este instrumento se encuentra alrededor de estas. Para el caso de la guitarra eléctrica, el rango de frecuencia fundamental está entre los 82 y los 988 Hz, y puede llegar a generar armónicos de entre 1 y 15 kHz.



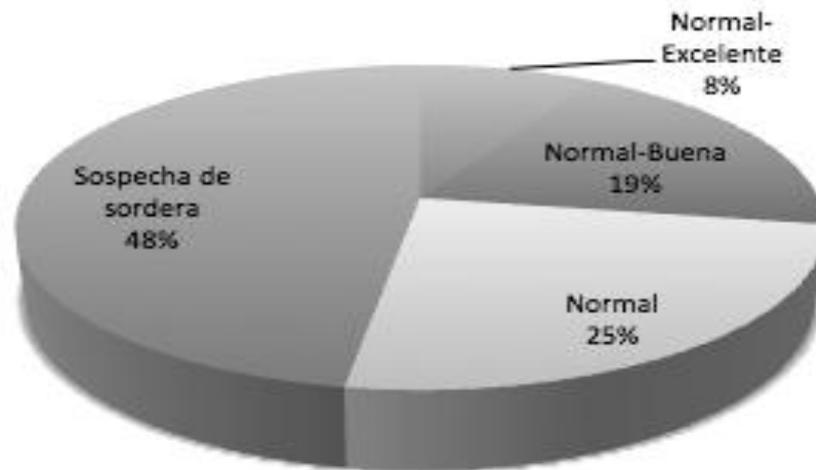
Existe una diferencia de alrededor de 40 dBA para los dos umbrales de audición; esto se debe tentativamente a los años de exposición a niveles altos de ruido que ha sufrido el músico que representa el umbral mínimo de audición. Además, a diferencia de los casos anteriores, existe un mayor desgaste en la frecuencia de 125 Hz, con respecto a los 250 Hz.

Los valores de desplazamiento auditivo se justifican tomando como premisa que la batería acústica es el instrumento con un rango de frecuencias más amplio en este trabajo.

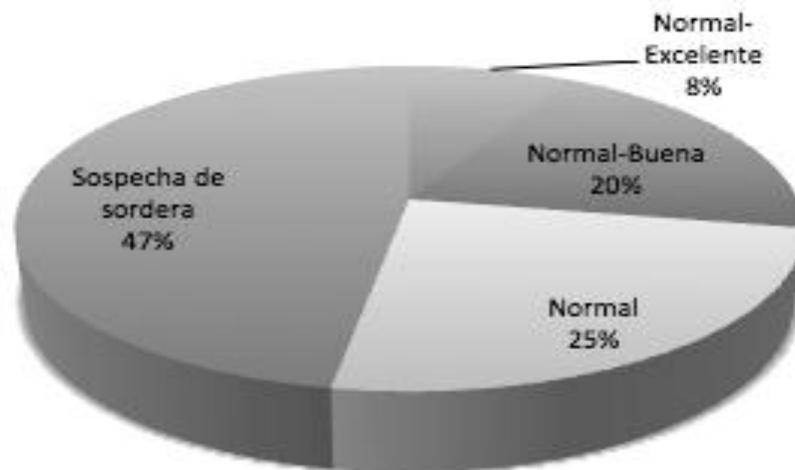




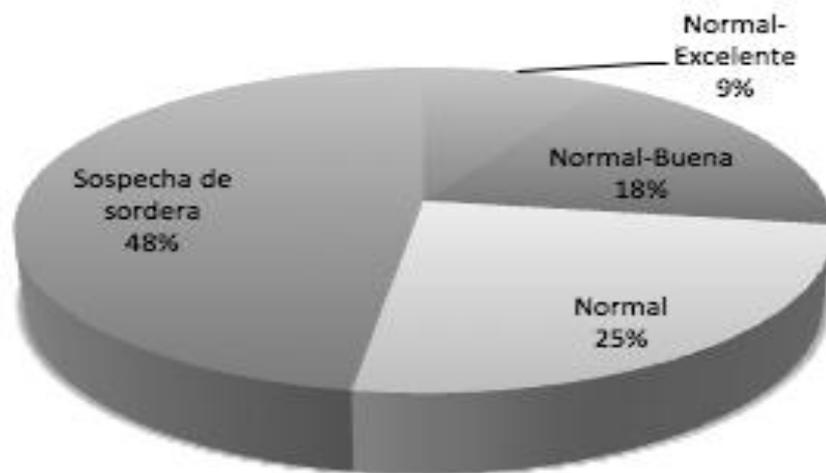
Se puede ver fácilmente que las frecuencias bajas, medias y altas tienen relativamente un comportamiento similar; esto se debe a que la batería tiene un rango muy grande de frecuencias que puede reproducir. Por ejemplo, el bombo genera tonos en su frecuencia fundamental desde los 30 Hz a los 147 Hz, con armónicos de entre 1 kHz y 6 kHz. Los platillos, por su parte, generan frecuencias fundamentales desde los 300 Hz a los 587 Hz, con armónicos de entre 1 kHz a 16 kHz.



**Figura 34.** Clasificación de la muestra de guitarristas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para los dos oídos

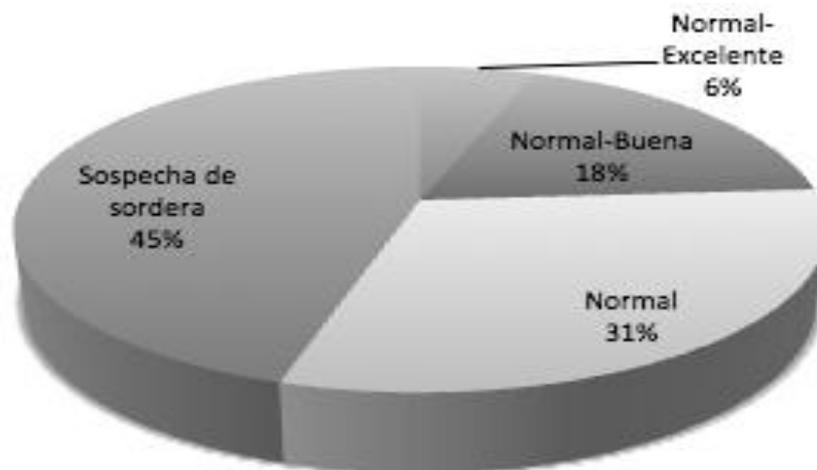


**Figura 35.** Clasificación de la muestra de guitarristas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para el oído izquierdo

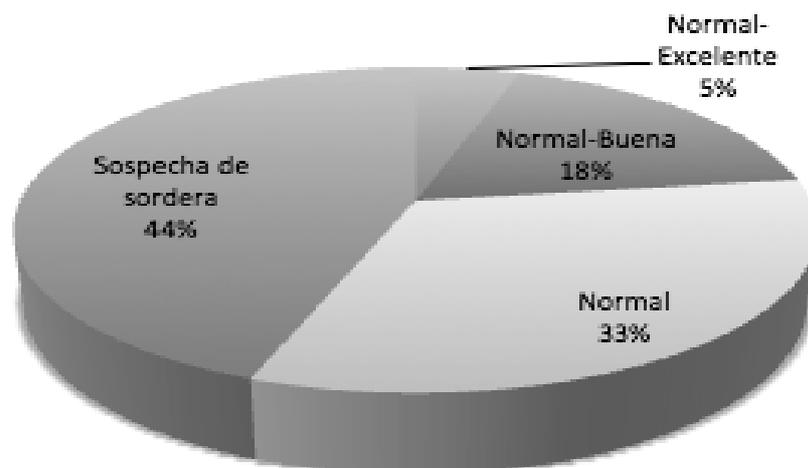


**Figura 36.** Clasificación de la muestra de guitarristas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para el oído derecho

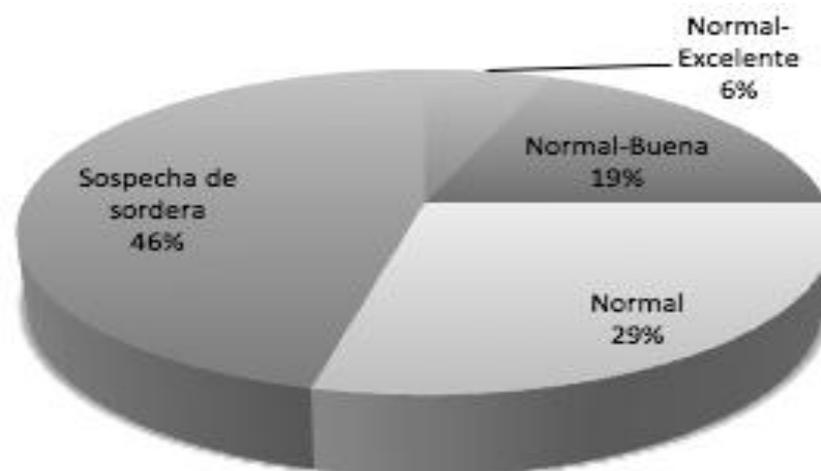
Más de un 50% del total de la muestra se encuentra en la zona donde se hallan los músicos que gozan de una buena salud auditiva, mientras dentro del 48 % restante existe una sospecha de sordera.



**Figura 37.** Clasificación de la muestra de bajistas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para los dos oídos

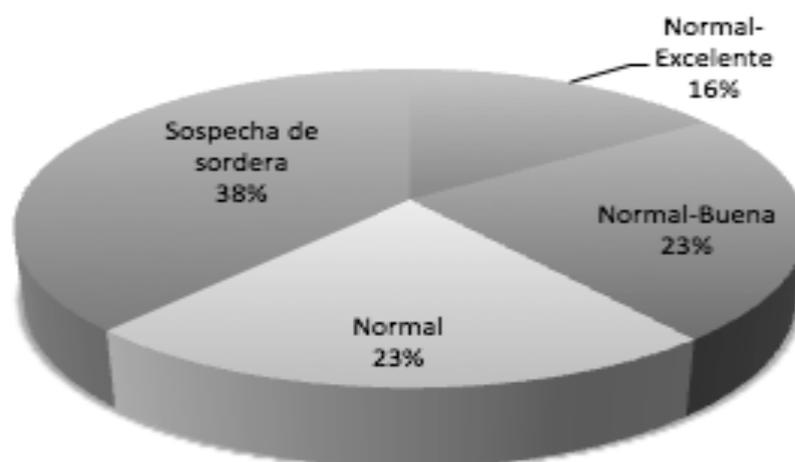


**Figura 38.** Clasificación de la muestra de bajistas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para el oído izquierdo

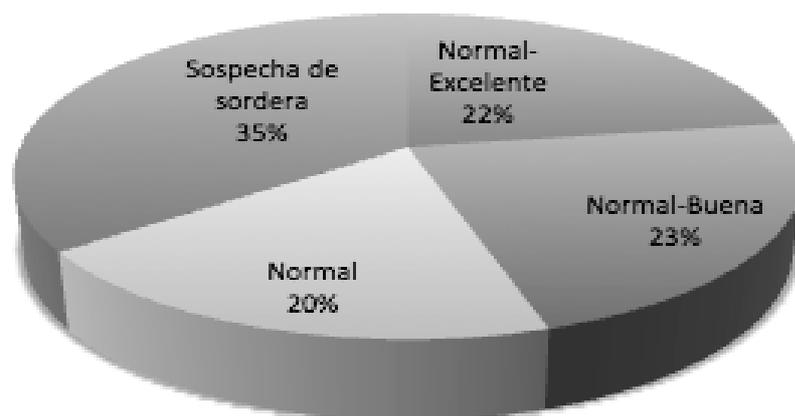


**Figura 39.** Clasificación de la muestra de bajistas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para el oído derecho

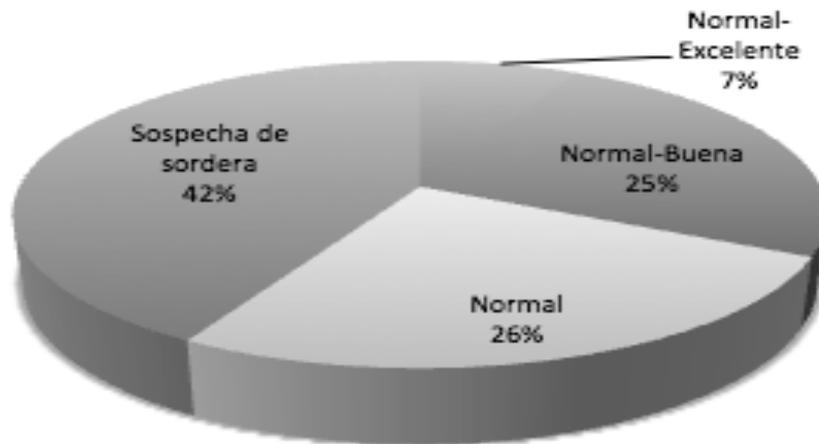
Existe un comportamiento algo similar de la muestra de bajistas con respecto a la de guitarristas, sin embargo, el tamaño de las personas con audición normal (8 – 14 dB HL) es mas grande en los bajistas.



**Figura 40.** Clasificación de la muestra de vocalistas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para los dos oídos

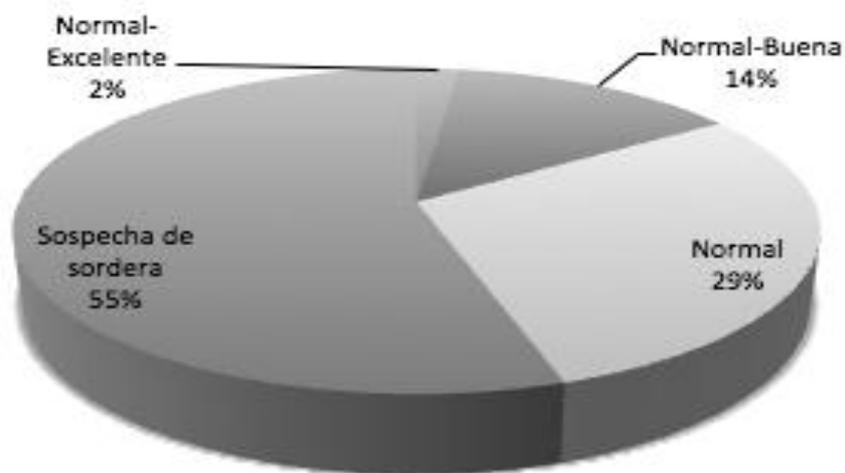


**Figura 41.** Clasificación de la muestra de vocalistas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para el oído izquierdo

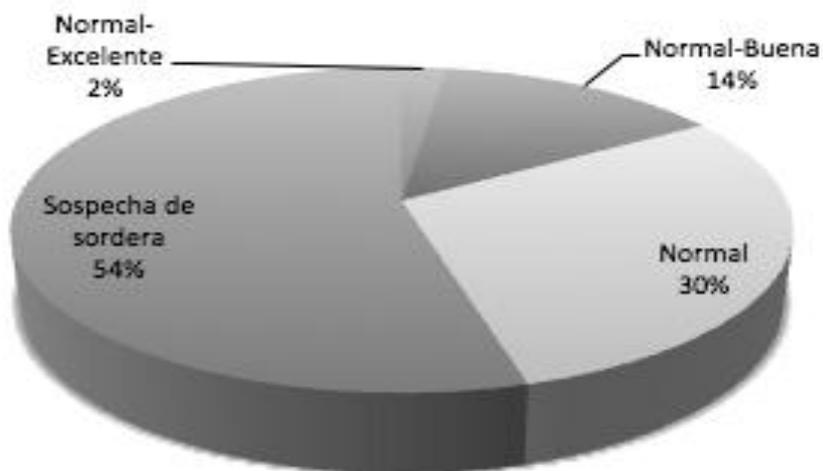


**Figura 42.** Clasificación de la muestra de vocalistas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para el oído derecho

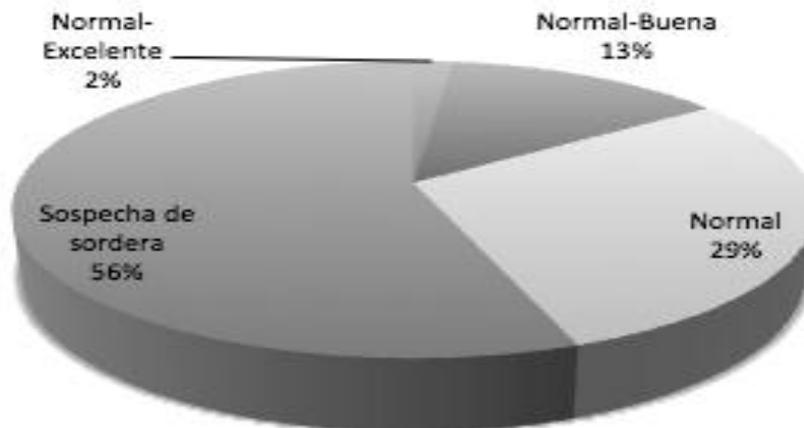
Existe un menor número de músicos con un índice de sospecha de sordera, además, el oído izquierdo de los vocalistas en general goza de una mejor calidad de audición en comparación al oído derecho.



**Figura 43.** Clasificación de la muestra de bateristas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para los dos oídos

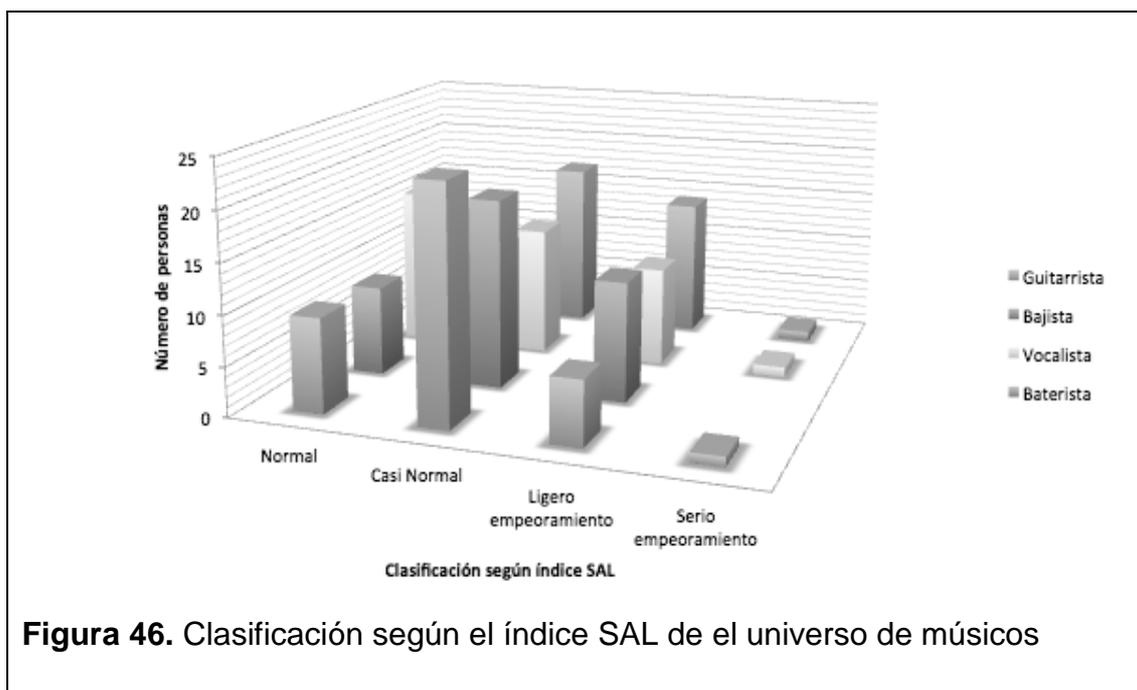


**Figura 44.** Clasificación de la muestra de bateristas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para el oído izquierdo

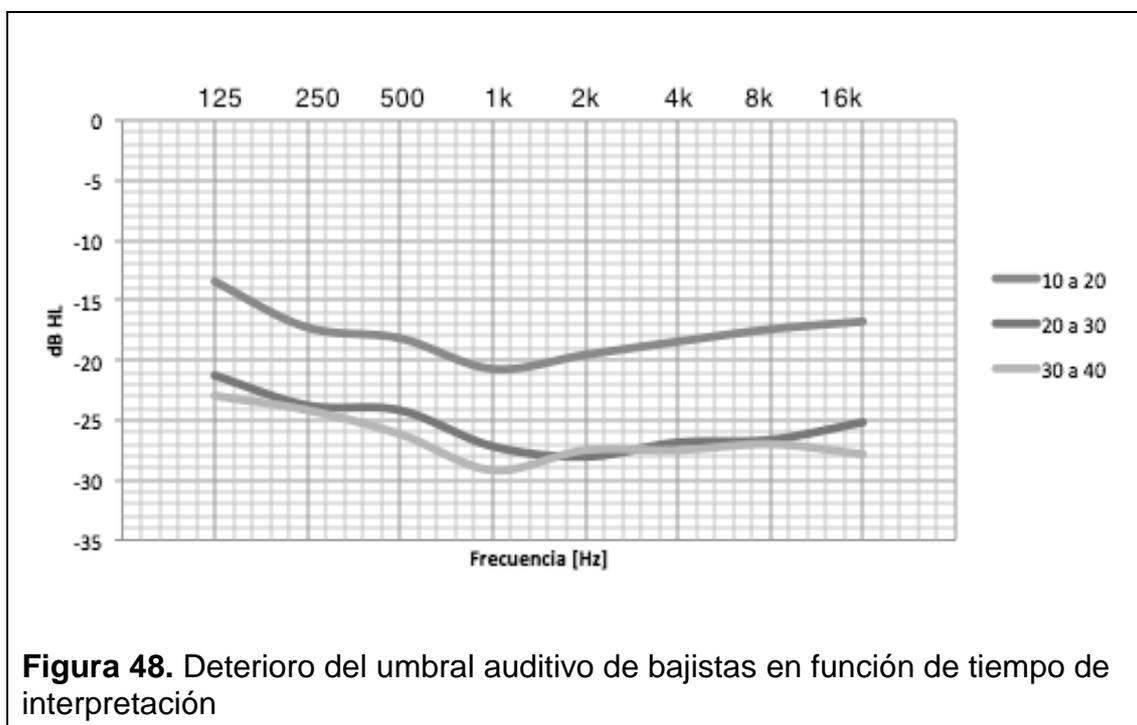
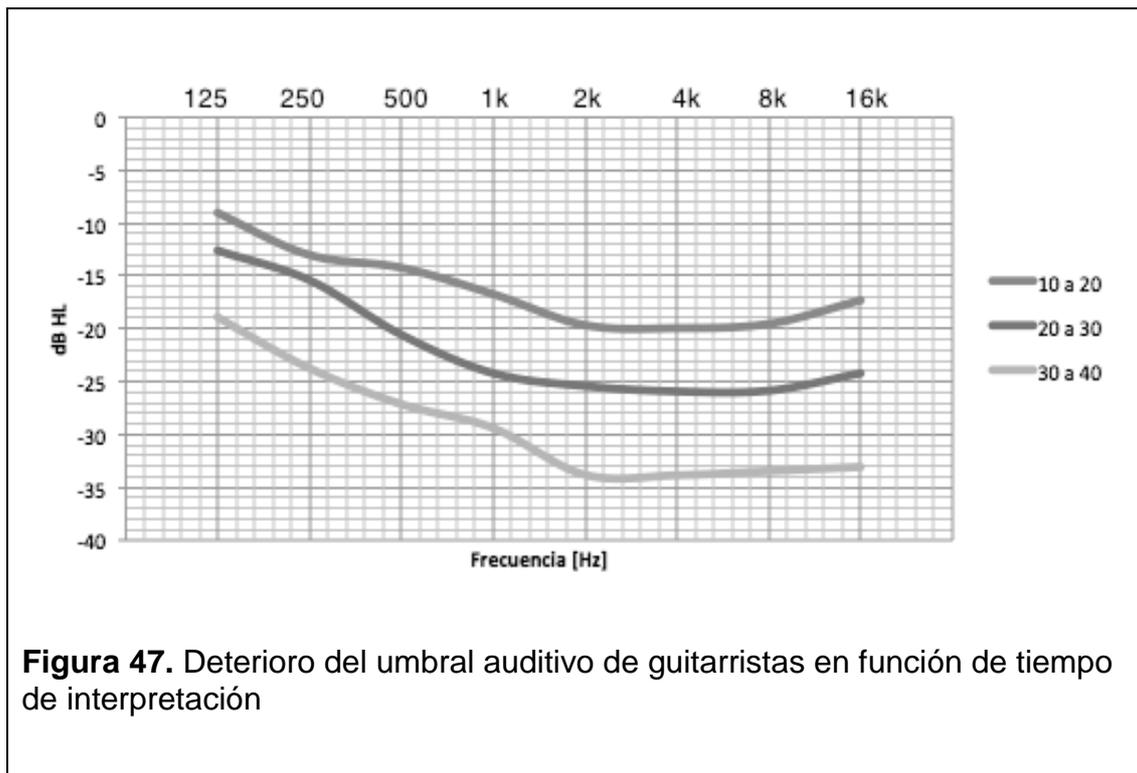


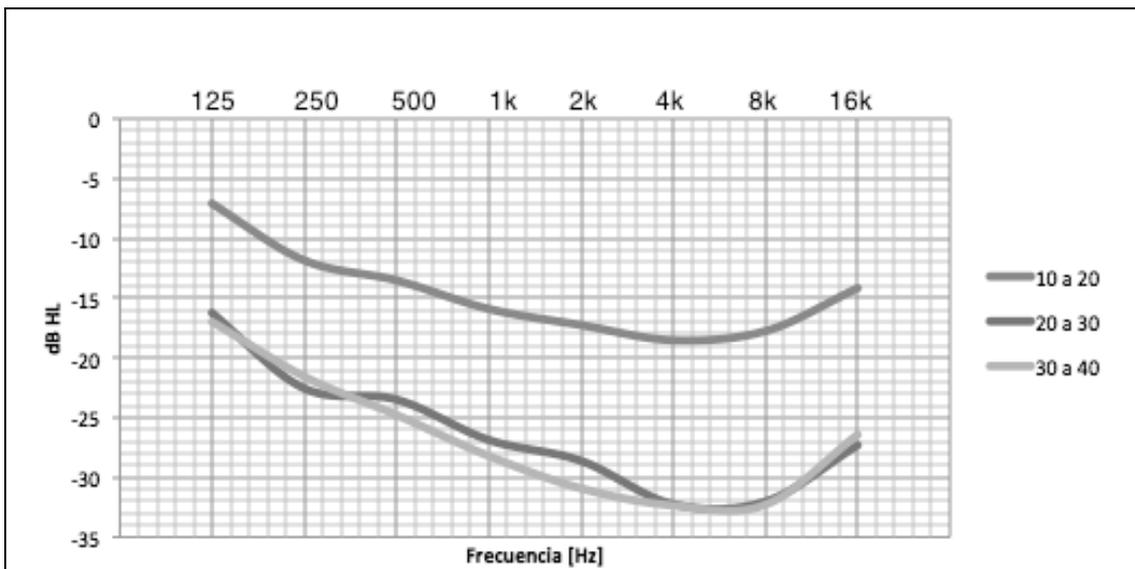
**Figura 45.** Clasificación de la muestra de bateristas según su nivel de escucha utilizando el índice ELI para el oído derecho

Este es el grupo de instrumentistas donde existe un mayor porcentaje de músicos con algún tipo de hipoacusia, sin embargo, este gráfico únicamente muestra un porcentaje de número de personas con sospecha de sordera, omitiendo que tipo y grado de trauma acústico tiene la persona.

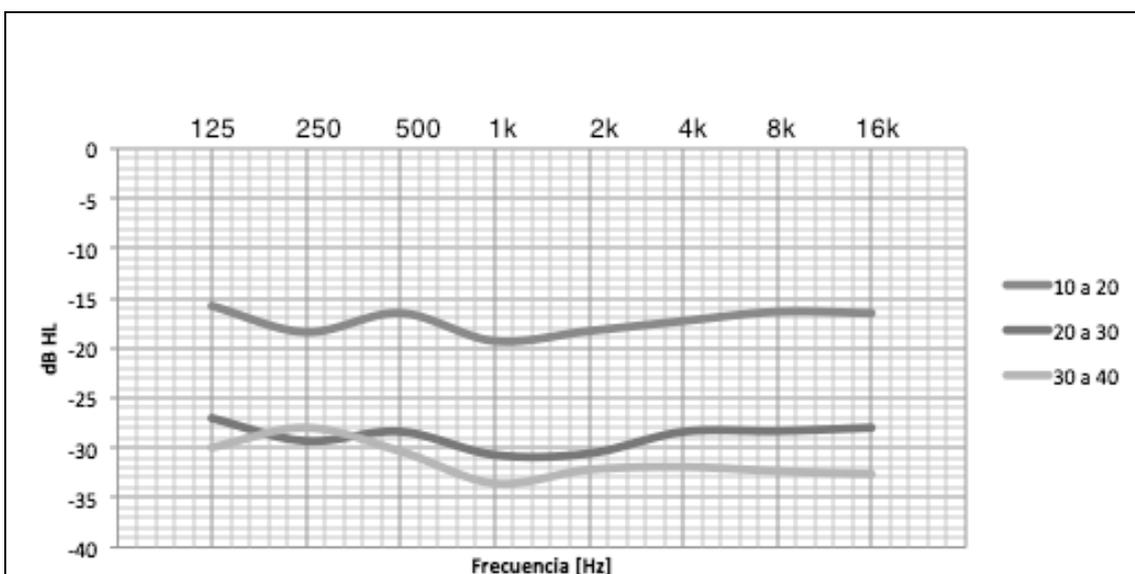


En general todos los diferentes tipos de instrumentistas siguen un patrón en el comportamiento de su audición, si embargo, el número de bateristas, con un ligero empeoramiento, es evidentemente superior en comparación al resto de músicos.

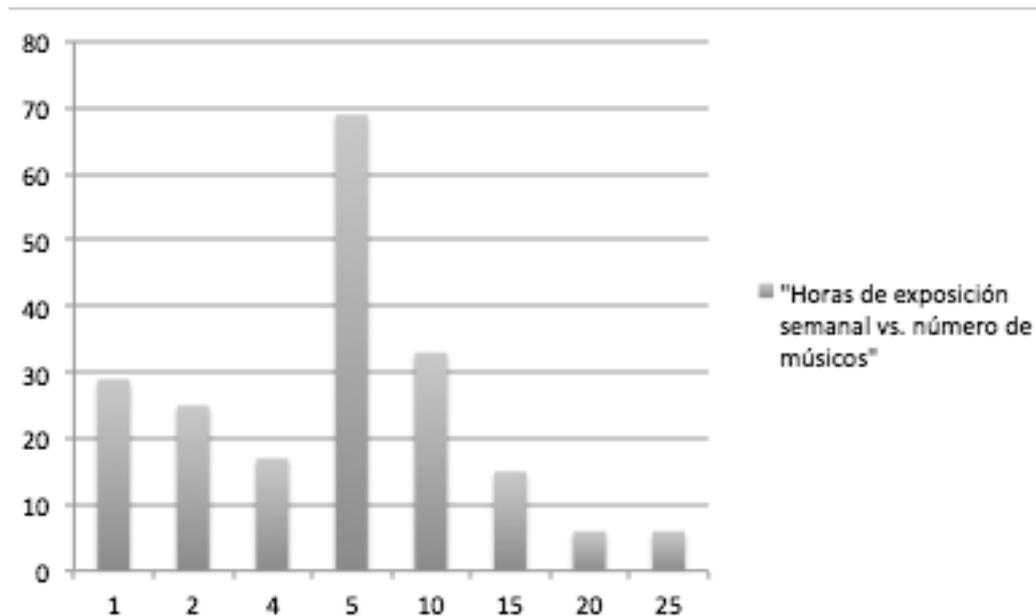




**Figura 49.** Deterioro del umbral auditivo de vocalistas en función de tiempo de interpretación

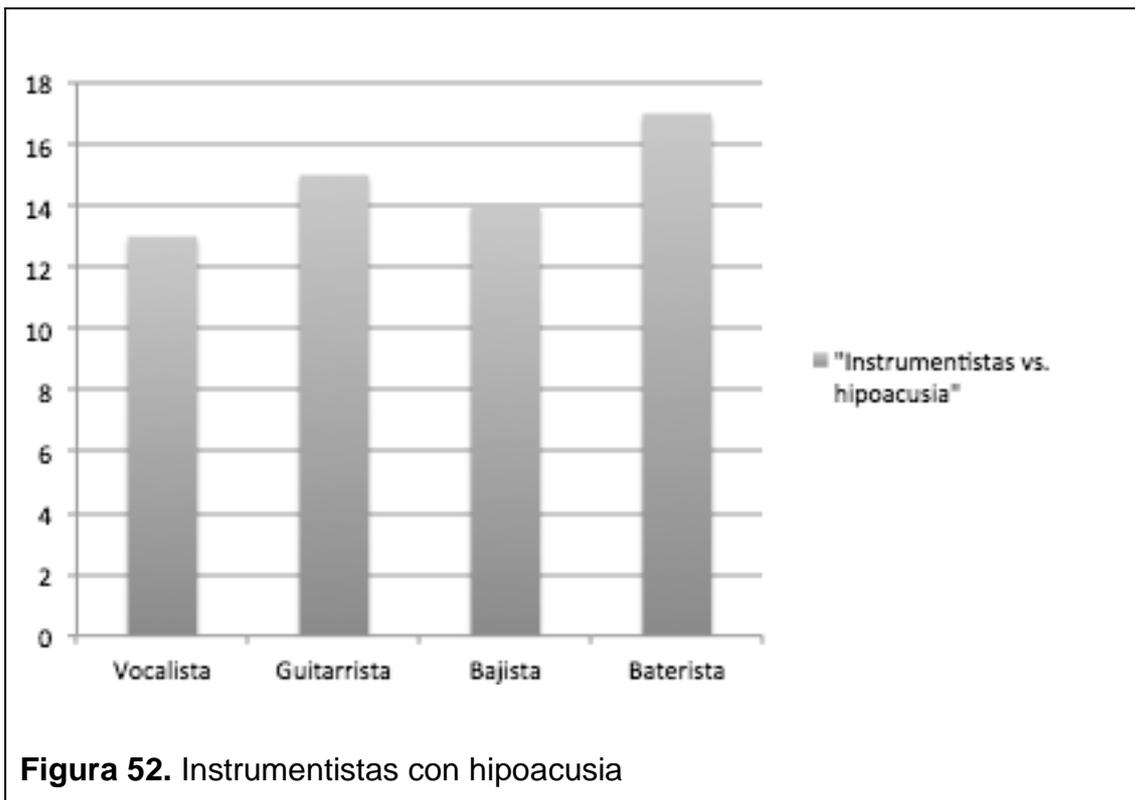


**Figura 50.** Deterioro del umbral auditivo de vocalistas en función de tiempo de interpretación



**Figura 51.** Horas semanales de exposición a la actividad musical

Mayoritariamente, los músicos ensayan cinco horas a la semana, como muestra la Figura 46. Realizando el promedio aritmético tomando la base de datos de las preguntas subjetivas se halla que los músicos practican 5,52 horas a la semana.



En los ensayos grupales de música se pudo determinar que la batería acústica es el único instrumento que no necesita amplificación. Los niveles de presión sonora que emite una batería son relativamente altos; por ello, se justifica que el grupo más grande de músicos con algún tipo de hipoacusia sea el de los bateristas.

La presencia de factores de riesgo como el ruido ha determinado que los lugares de ensayo necesiten evaluaciones técnicas para determinar la exposición al riesgo de pérdida auditiva, situación que estuvo respaldada por el número de quejas recibidas al momento de realizar la encuesta subjetiva de síntomas causados probablemente por ruido.

#### **4.1. Encuesta de evaluación subjetiva hecha a cada músico sometido al proceso de audiometría**

El proceso de identificación de riesgos en el presente trabajo dispuso de una evaluación subjetiva de exposición al ruido, con el objeto de hacer partícipes a los músicos, tomando en cuenta el instrumento que interpretan. Dicha encuesta permitió conocer el criterio personal de cada músico sobre la presencia de ruido y su confort o discomfort sonoro a la hora de ensayar con su banda.

La primera parte permitió recabar la información referente a datos personales de la persona y el instrumento que interpreta. La segunda parte permitió identificar, a criterio personal, las fuentes de ruido y su incidencia en la salud y el confort de los músicos. Por último, el cuestionario pudo evaluar los principales síntomas o afecciones a la salud a causa de la exposición a ruido.

Con la encuesta se buscaron obtener los siguientes datos:

- Tipo de instrumento musical interpretado.
- Número de músicos que realiza una tarea determinada.
- Tiempo asociado a cada tarea para cada músico.
- Características generales del recinto donde se realiza la tarea.
- Principales fuentes generadoras de ruido que influyen en el puesto de trabajo del músico evaluado.

La encuesta se aplicó a 200 músicos de rock que tenían una exposición directa y frecuente a ruido, debido al nivel con el que interpretan sus composiciones a la hora de ensayar con su banda. El proceso de aplicación de esta encuesta estuvo dado de acuerdo al siguiente procedimiento.

- Se separó a los músicos en grupos de cinco individuos para que pudieran llenar el cuestionario.
- Se brindó ayuda acerca de dudas sobre el significado de cada pregunta durante el proceso de resolución del cuestionario.

- Una vez que los músicos finalizaron el cuestionario, se procedió a una breve revisión de las respuestas y a la clasificación de resultados según la edad.
- Se tabularon los datos.
- Se organizaron y presentaron los datos y resultados.

Cabe recalcar que el propósito de este cuestionario subjetivo es establecer medidas de control y prevención.

## **4.2. Medición de nivel de ruido en los lugares de ensayo**

La medición del riesgo de ruido en los lugares de ensayo se realizó a través del sonómetro. Estas mediciones permitieron evaluar de manera cuantitativa los niveles sonoros, para compararlos con aquellos permitidos por la legislación nacional.

El proceso para la realización de esta evaluación o medición se detalla a continuación.

### **4.2.1. Selección de modo de banda y rango de medición**

Para llevar a cabo la medición acústica en los recintos de ensayo musical, se tomó como un rango dinámico niveles desde los 30 dBA a los 120 dBA. Si en alguna ocasión el ruido medido estaba por debajo del rango dinámico seleccionado para la medición, el sonómetro disparaba un alarma de “Bajo rango”; por otro lado, si el nivel de ruido superara los 120 dBA, el sonómetro indicaba “Sobre rango”. En cualquier caso, si se llegaban a presentar dichos niveles, la medición quedaba anulada y se la volvía a realizar.

El objeto de las mediciones era conocer el espectro de frecuencias que componen el ruido presente en los lugares de ensayo, para conocer en qué banda de frecuencias podría presentarse un mayor problema.

### 4.3. Tiempo y número de mediciones

El tiempo fijado para la medición de ruido fue de dos horas, con pausas una vez que los músicos dejaban de interpretar su instrumento. Al cumplir este período, el proceso de medición se detenía y se emitía el nivel de ruido equivalente, máximo y mínimo.

En el caso de mediciones en bandas de octava, el tiempo de medición se distribuyó entre cada una de las frecuencias. Se realizaron cinco mediciones para cada ensayo de música, una para cada ubicación del instrumentista.

Se realizaron diez mediciones acústicas en los lugares de ensayo, aunque este valor no obedece a un cálculo estadístico, se puede justificar porque el valor de desviación estándar, calculado para los NPS de los diferentes lugares de ensayo, no varió significativamente. Además este valor fue sugerido por un docente de la universidad.

Finalmente, se buscó analizar el comportamiento en todas las frecuencias que conforman el espectro sonoro. En el Anexo 7 se muestran fotografías del procedimiento.

Las siguientes son recomendaciones a tomar en cuenta durante el proceso de medición de ruido:

- Determinar el tipo de ruido presente en el área de trabajo.
- Tener el sonómetro calibrado y cargado.
- Realizar una explicación previa a los músicos presentes al momento de ensayar con su banda.
- Realizar las mediciones en condiciones normales de ensayo y evitar modificar el ambiente sonoro del mismo.
- Colocar el equipo a la altura del pabellón auditivo del músico.
- Colocar el sonómetro separado de cualquier superficie para evitar la captación de ondas estacionarias.

- Utilizar el pedestal del sonómetro.
- Evitar la influencia del viento: utilizar pantallas o protectores antiviento, si fuera necesario.
- Si en algún momento la medición fuera interrumpida, se la deberá tomar como nula y comenzar de nuevo.
- Luego de realizar el número de mediciones, se debe elegir el nivel de presión equivalente mayor.
- Registrar el nivel equivalente de ruido obtenido.

#### **4.4. Evaluación y cálculo de niveles de ruido**

La evaluación del riesgo de exposición a ruido de los puestos de trabajo se basó en el art. 55, literal 6, del Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo (Decreto 2393, 1986, p. 12), que “fija como límite máximo de presión sonora 85 dBA del sonómetro en una jornada de 8 horas. Será la medida de referencia para determinar o no que existe exposición a ruido; todos los valores obtenidos serán comparados con el valor determinado por la normativa legal ecuatoriana” (RSSTMMA, 1986, p. 12).

Una vez finalizadas las mediciones de ruido en los puestos de trabajo, se analizaron los resultados de las mediciones obtenidas. Para ello fue necesario realizar cálculos matemáticos que permitieran obtener las dosis de exposición y el nivel de riesgo de exposición presente, para determinar exactamente si existía o no riesgo de exposición.

#### **4.5. Cálculo de los niveles equivalentes de ruido**

Con los valores de las mediciones de ruido se realizó el cálculo para la obtención del nivel de ruido equivalente de los recintos de ensayo. Para este cálculo se utilizó la fórmula o la técnica de adición sonora de fuentes de ruido, y se realizaron tablas con datos que permitieran el análisis de los niveles de ruido

obtenidos. Las ecuaciones utilizadas para el cálculo fueron las que se exponen a continuación.

#### 4.5.1. Nivel equivalente de ruido por jornada laboral

Para el cálculo del nivel equivalente de ruido por jornada laboral, se aplicó la siguiente ecuación:

$$Leq_{jornada} = 10 \log \frac{1}{8} \sum T_1 10^{\left(\frac{Leq_l}{10}\right)} \quad (\text{Ecuación 8})$$

donde  $Leq_{jornada}$  es el nivel de ruido equivalente por jornada de trabajo (dBA) y  $Leq_l$  es el nivel de ruido equivalente individual (dBA).

##### 4.5.1.1. Cálculo de nivel de exposición diaria equivalente

Para el cálculo del nivel de exposición diaria equivalente de ruido, se aplicó la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T}{8} \quad (\text{Ecuación 9})$$

donde  $L_{Aeq,d}$  es el nivel de exposición diaria equivalente a ruido (dBA),  $L_{Aeq,T}$  es el nivel de exposición equivalente a ruido en un período de tiempo (dBA) y T es el tiempo de exposición en horas.

#### 4.6. Cálculo de tiempo máximo de exposición permitido para el NPSeq medido

El tiempo máximo de exposición permitido para cualquier NPSeq medido se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$T_P = T_{REF} \cdot 2^{(NPS_{REF} - NPS_{eqi})/q} \quad (\text{Ecuación 10})$$

donde  $T_P$  es el tiempo máximo de exposición permitido para el NPSeq medido;

$T_{REF}$  es el tiempo de referencia (ocho horas);  $NPS_{REF}$  es el nivel de presión sonora de referencia para ocho horas, con un valor igual a 85 dBA lento;  $NPS_{eqi}$  es el nivel de presión sonora equivalente medido para la tarea  $i$ ; y  $q$  es la razón de cambio, con valor igual a 3.

**Tabla 12 Cuestionario subjetivo previo a realización de audiometría**

<b>Cuestionario</b>	<b>SI</b>	<b>Leve</b>	<b>Moderado</b>	<b>Alto</b>	<b>NO</b>	<b>Total</b>
¿Tiene algún problema de acúfenos en su oído?	58	26	21	11	142	200
¿Tiene problemas para oír una conversación normal?	76	34	25	17	124	200
¿El nivel de sonido al que ensaya cree que es normal?	106	39	31	36	94	200
¿Piensa usted que cada año aumentado el nivel de sonido con el practica su instrumento?	90	42	35	21	110	200
¿Utiliza protectores auditivos en sus ensayos?	164	19	47	98	36	200
¿Se ha realizado audiometrías?	21			21	179	200
¿Ha asistido a charlas acerca de capacitación sobre exposición auditiva al ruido?	26	9	5	12	174	200
¿El volumen de su reproductor de música con audífonos es adecuado?	181	42	46	93	19	200
¿Una vez que ha finalizado el ensayo grupal existen molestias en la audición?	134	37	23	74	66	200
¿Utiliza con frecuencia audífonos la hora de escuchar música?	195	22	31	142	5	200

#### 4.7. Resultados de valoraciones audiométricas

Los resultados de las audiometrías fueron tabulados para determinar el estado auditivo de los músicos analizados e inferir la salud general del área. Cabe destacar que este número de personas representa el 30% del total del universo de músicos que practican la música rock en la ciudad de Quito. Los audiogramas y los resultados de las audiometrías permitieron realizar un análisis mediante los criterios de valoración ELI.

Los resultados de las audiometrías mostraron que el 58,33% de las personas en estudio tiene una audición normal, con una edad promedio de 35,67 años y 14 años realizando la actividad musical.

La hipoacusia por exposición a ruido está relacionada directamente con la edad y los años de interpretación musical. El 8,33% de los músicos en este estudio padece de hipoacusia conductiva en el oído izquierdo, y tiene una edad promedio de 46,67 años y 32,56 años realizando la actividad musical.

**Tabla 13.** Resultados de audiometrías a músicos

Diagnóstico	Número de casos	Edad promedio	Años de Interpretación musical	%
Hipoacusia en oído izquierdo	11	45,34	32,56	5,5
Hipoacusia en oído derecho	13	46,67	32,56	6,5
Presbiacusia en oído izquierdo	21	41,87	28,7	10,5
Presbiacusia en oído derecho	22	42,1	26,4	11
Trauma en oído izquierdo	35	41,54	21,56	17,5
Trauma en oído derecho	32	39,14	22	16
Normal	133	35,67	14	66,5
<b>Total</b>	200			

#### 4.8. Aplicación del método de evaluación ELI (Índice de Pérdida Precoz)

La aplicación del método tuvo por objeto determinar si el ruido presente puede provocar una pérdida auditiva precoz, para lo cual se clasificó en cinco grados (A, B, C, D y E) a las respuestas para cada oído. A cada valor se le restó el valor de presbiacusia (pérdida por envejecimiento), y de esta manera se obtuvo el índice o grado ELI. La Tabla 14 muestra los resultados y la clasificación de niveles sonoros por el método ELI, para las 200 audiometrías realizadas.

**Tabla 14.** Resultados de audiometrías aplicando el método de evaluación ELI

<b>Pérdida audiométrica</b>	<b>Grado ELI</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Oído izquierdo</b>	<b>Oído derecho</b>	<b>% de incidencia</b>	<b>Edad promedio</b>
< 8	A	Normal	109	102	54,5	24
De 8 a 14	B	Leve	34	31	17	27
De 15 a 22	C	Moderada	14	32	7	29
De 23 a 29	D	Moderada-Severa	14	14	7	32
> 30	E	Indicio de sordera	29	21	14,5	36
		Total	200	200		

La tabla anterior indica que el 71,5% de músicos presenta una audición entre normal y con daño leve, y en un 14% se visualiza un claro indicio de sordera a una edad promedio de 36 años, lo que indica una correlación con respecto a los resultados mostrados en la Tabla 13. Sin embargo, el 7% muestra una sospecha de sordera con un promedio de 29 años, lo que lleva a deducir que el ruido presente en los lugares de ensayo da como lugar consecuencias dañinas en la salud de los músicos.

## 4.9. Nivel equivalente de ruido medido

### 4.9.1. Cálculo de nivel equivalente continuo de ruido

Dado que cada músico ensaya de una manera diferente, tanto en cuanto al nivel de sonido como en cuanto a la duración de los ensayos, fue necesario incluir estas interrogantes en el cuestionario subjetivo previo a la realización de los exámenes audiométricos. El resultado fue que, en promedio, las prácticas musicales grupales tienen una duración de dos horas por jornada laboral, durante 3 días a la semana.

Como la actividad musical requiere una práctica prolongada, fue necesario identificar el tiempo de uso de cada instrumento, con el objeto de establecer los niveles equivalentes de ruido diario, tiempo máximo y grado de riesgo. El estudio se realizó en los músicos activos, es decir, que se encuentran interpretando hasta la actualidad instrumentos musicales y, sobre todo, que se exponen a niveles altos de ruido en una jornada de práctica musical de dos horas.

**Tabla 15.** Niveles de ruido equivalente durante un ensayo de música rock

<b>Niveles de ruido equivalente durante ensayos de banda de rock</b>							
	<b>125 HZ</b>	<b>250 Hz</b>	<b>500 Hz</b>	<b>1 kHz</b>	<b>2 kHz</b>	<b>4 kHz</b>	<b>8 kHz</b>
<b>PUNTO 1: Baterista</b>	82,3	84,1	91,9	94,1	91,7	95,8	89,2
<b>PUNTO 2: Guitarrista 1</b>	75,7	79,3	89,4	94,5	93,4	95,8	89,5
<b>PUNTO 3: Guitarrista 2</b>	77,3	79,6	91,2	89,4	94,3	94,7	89,4
<b>PUNTO 4: Bajista</b>	83	89,6	90,7	89,3	93,2	92,9	88,4
<b>PUNTO 5: Vocalista</b>	76,6	85,6	87,6	92,4	92,1	94,1	84,4
<b>Promedio</b>	78,98	83,64	90,16	91,94	92,94	94,66	88,18
<b>99,27</b>							

Los valores expresados en la Tabla 15 muestran el resultado promedio de la medición de ruido equivalente durante un ensayo de bandas de rock en un lugar de ensayo para músicos. La medición duró dos horas, debido a que este es el tiempo que, en promedio, ensayan los músicos con su agrupación en una sesión de ensayo.

Los valores muestran una mayor energía en las bandas de 2 kHz, 4 kHz y 8 kHz. Como resultado, se obtuvo un nivel de ruido equivalente igual a 99,27 dBA durante dos horas de exposición por parte de los músicos, lo que da como resultado un nivel superior al que establece el reglamento de seguridad y salud laboral del Ecuador, que fija un nivel máximo de exposición sonora igual o menor a 95 dBA para una actividad laboral con dos horas de duración. Se ve, entonces, una violación del reglamento. Posteriormente, esta actividad se verá reflejada en daños permanentes en la audición de los individuos involucrados, si no toman medidas de protección y cuidado en su audición.

#### **4.10. Evaluación de exposición al ruido**

El Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, Decreto Ejecutivo 2393, en su art. 55, literal 7, fija como límite permitido 85 dBA para una jornada laboral de ocho horas diarias. A partir de los resultados obtenidos en el cuestionario subjetivo, se determinó que los músicos partícipes del presente estudio ensayan en promedio dos horas diarias durante tres días a la semana. En la normativa se establece un nivel máximo permitido, para una jornada laboral de ocho horas, igual a 95 dBA.

Dados los tiempos de ensayo de las personas involucradas en este estudio, fue necesario realizar una conversión de niveles equivalentes, tomando como referencia una jornada laboral de cinco días a la semana. A partir de lo establecido en la normativa, se realizó una evaluación comparativa para determinar si los niveles de ruido equivalentes sobrepasaron la normativa legal.

Para realizar la conversión de nivel equivalente de ruido de una jornada laboral de dos horas durante tres días a la semana, a una jornada laboral con una duración de dos horas durante cinco días a la semana se utilizó la siguiente fórmula.

$$L_{EX,2h} = 10 \lg \left[ \frac{1}{K} \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{EX,2h})i} \right] \quad (\text{Ecuación 11})$$

$L_{EX,2h}$  es el valor promedio de nivel de ruido que se desea obtener para n días en un período de K días.

El valor K se escoge de acuerdo al propósito del proceso de promediado; para este caso se tomó un valor de cinco días a la semana, es decir, el que se encuentra establecido en el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, Decreto Ejecutivo 2393.

El valor n es el número de días que se desea transformar, es decir, el número normal de jornadas en las que se lleva a cabo la actividad. Para este caso, los ensayos se llevaron a cabo con un promedio de tres días a la semana.

El resultado es lo siguiente:

$$L_{EX,2h} = 10 \lg \left[ \frac{1}{5} \sum_{i=1}^3 10^{0,1(99,27dBA)i} \right] \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$L_{EX,2h} = 97,05dBA$$

Por lo tanto, el nuevo nivel equivalente para una jornada laboral de dos horas diarias durante cinco días a la semana sería igual a 97,05 dBA, valor que sobrepasa el límite establecido: 95 dBA.

A partir de ello se puede decir que en los lugares de ensayo musical existe un nivel mayor a los 75 dBA, que es aquel en el que inician las molestias y el

disconfort en las personas. En esta actividad en particular se está violando la normativa; por lo tanto, se sospecha un claro indicio de desplazamiento del umbral auditivo de forma permanente en los músicos que sigan expuestos a dichos niveles o que no tengan algún tipo de cuidado con respecto a su salud auditiva.

#### 4.10.1. Proyección de riesgo por ruido en la salud

Los niveles equivalentes de ruido de una jornada laboral en una semana permitieron, a través del uso del método de evaluación de ruido (UNE 74-023-92), estimar el grado de riesgo en los músicos que están expuestos a niveles considerables de ruido, tomando en cuenta la edad y los años que se encuentran practicando la actividad musical. La Tabla 16 muestra cómo se ve afectada la audición en función de la edad de las personas bajo condiciones normales, es decir, el deterioro normal que sufren las personas en su audición debido al envejecimiento.

**Tabla 16.** Desplazamiento del umbral auditivo en función de la edad

Frecuencia (Hz)	Nivel de desplazamiento de umbral de audición (dBA)			
	Edad (años)			
	De 10 a 20	De 20 a 30	De 30 a 40	De 40 a 50
125	0	0	-2	-3
250	0	0	-2	-3
500	0	-1	-2	-4
1000	0	-1	-2	-4
2000	0	-1	-3	-7
4000	0	-2	-8	-16
8000	0	-3	-11	-23

#### 4.10.2. Cálculo de desplazamiento del umbral auditivo en músicos de rock de la ciudad de Quito

El propósito de este trabajo es obtener los umbrales de audición promedio para cada tipo de músico; entonces, resulta necesario utilizar los datos obtenidos como producto de las audiometrías hechas a los músicos. De esta manera, se obtienen cuatro diferentes tablas en las que se muestra el nivel de desplazamiento para cada músico en función de su edad: una tabla de datos para vocalistas, otra diferente para bateristas y de la misma manera para guitarristas y bajistas.

Los datos que muestran las siguientes tablas se valieron de la herramienta estadística de la media de los valores de todas las audiometrías que se realizaron en todos los músicos que participaron en este trabajo, para cada banda de frecuencia.

**Tabla 17.** Desplazamiento del umbral auditivo de vocalistas de rock de la ciudad de Quito, en función de la edad

	<b>Nivel de desplazamiento del umbral de audición (dBA)</b>			
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Edad (años)</b>			
	De 10 a 20	De 20 a 30	De 30 a 40	De 40 a 50
125	-7	-15	-16	-16
250	-12	-22	-22	-22
500	-13	-24	-24	-24
1000	-16	-27	-28	-28
2000	-18	-29	-32	-33
4000	--18	-33	-33	--34
8000	--16	--27	-28	-29

**Tabla 18.** Desplazamiento del umbral auditivo de bajistas eléctricos de rock de la ciudad de Quito, en función de la edad

	<b>Nivel de desplazamiento del umbral de audición (dBA)</b>			
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Edad (años)</b>			
	De 10 a 20	De 20 a 30	De 30 a 40	De 40 a 50
125	-13	-21	-23	-25
250	-17	-24	-24	-26
500	-18	-24	-27	-29
1000	-20	-27	-30	-36
2000	-19	-28	-28	-36
4000	-17	-27	-27	-36
8000	-17	-28	-28	-33

**Tabla 19.** Desplazamiento del umbral auditivo de guitarristas eléctricos de rock de la ciudad de Quito, en función de la edad

	<b>Nivel de desplazamiento del umbral de audición (dBA)</b>			
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Edad (años)</b>			
	De 10 a 20	De 20 a 30	De 30 a 40	De 40 a 50
125	-9,1	-12	-18	-21
250	--13	-15	-23	-23
500	--14	-20	-27	-27
1000	-16	-24	-29	-29
2000	--19	--25	-33	-36
4000	-19	-25	-34	-37
8000	-19	-25	-23	-37

**Tabla 20.** Desplazamiento del umbral auditivo de bateristas de rock de la ciudad de Quito, en función de la edad

Frecuencia (Hz)	Nivel de desplazamiento del umbral de audición (dBA)			
	Edad (años)			
	De 10 a 20	De 20 a 30	De 30 a 40	De 40 a 50
125	-16	-28	-30	--30
250	-18	-30	--30	--30
500	--17	-29	--30	-30
1000	--19	-30	-33	-34
2000	-18	-30	-33	-36
4000	--17	-28	-32	-33
8000	-16	-28	-33	-33

Con los valores obtenidos de umbral para cada tipo de instrumentista de rock, se procedió a generar la aplicación predictiva de estimación de pérdida auditiva en músicos de rock, en función de la edad y del instrumento interpretado.

#### **4.11. Implementación de una aplicación predictiva de umbrales de audición para músicos de rock de la ciudad de Quito**

##### **4.11.1. Variables de entrada**

Se establecieron las variables de entrada de la aplicación; dicho de otra manera, los valores que darán resultados dependientes de los mismos.

- Edad
- Tiempo de predicción
- Umbral auditivo actual
- Instrumentista
- Nivel de exposición de ruido equivalente\*

**Edad:** Se ingresó en años la edad actual del músico.

**Tiempo de predicción:** El usuario debía ingresar, en años, el tiempo que deseara para la predicción, es decir, para conocer su umbral auditivo pasado ese lapso (de mantenerse el mismo nivel de exposición).

**Umbral auditivo actual:** El músico debía rellenar los casilleros dispuestos para cada banda de frecuencia. De no conocer su umbral auditivo, se cargaba el umbral promedio para su edad según las normas ISO 7029.

**Instrumentista:** Se elegía entre las cuatro opciones enunciadas: baterista, guitarrista, vocalista y bajista.

**Nivel de ruido equivalente:** Es el nivel al cual ensaya su banda en promedio. De no conocerlo, se cargaba el valor promedio calculado en este trabajo, es decir, 97 dBA.

#### **4.11.2. Variables de salida**

Son los valores dependientes de las variables de entrada.

#### **Umbral auditivo predictivo**

Es el valor estimado que devuelve la aplicación para el estado del umbral auditivo en función del tiempo de predicción y del instrumento musical seleccionados.

En el Anexo 5 se muestra una captura de la aplicación.

### **5. Medidas de control y prevención**

Con la implementación de medidas organizativas y técnicas, se desea controlar los niveles de ruido expuestos en el presente trabajo. Se pretende aplicar las medidas sobre las fuentes emisoras de ruido (en este caso, los instrumentos),

en los recintos de ensayo y, finalmente, en el individuo que se encuentra expuesto a estos niveles de ruido.

Con una combinación de medidas sobre la fuente, el medio y el individuo, se puede esperar resultados satisfactorios para la problemática planteada.

### **5.1. Medidas organizativas**

Este tipo de medida es intuitivo y muy fácil de aplicar en casos de sobreexposición a niveles no adecuados de ruido, pero, por desconocimiento, los músicos no lo hacen. En su gran mayoría, las personas que han sido partícipes de este trabajo tienen la creencia errada de que el oído humano reacciona de la misma manera cuando está expuesto dos horas a un nivel y cuando está expuesto una hora.

Entonces, la solución más efectiva sería realizar ensayos de música en diferentes horarios. Dicho de otra manera, un músico ensaya en promedio tres días a la semana con una duración de dos horas por jornada laboral, expuesto a un nivel de ruido continuo equivalente de 99,7 dBA, cuando la normativa establece una máximo de 95 dBA; para no violar la normativa de seguridad ocupacional para trabajadores de la ciudad de Quito, la solución sería ensayar a ese nivel pero una hora diaria.

### **5.2. Medidas técnicas**

Las medidas técnicas son aplicables sobre la fuente, el medio de transmisión y el receptor.

Para la adopción de medidas de control del ruido en músicos, se tomaron como referencia estudios previos realizados sobre las condiciones y la evaluación de las actividades en trabajadores industriales, así como sobre sus posibles soluciones.

### **5.2.1. Control sobre la fuente de ruido**

Estas medidas hacen referencia al manejo de materiales y equipos para controlar los niveles de ruido que emite una determinada fuente. Este tipo de control es muy usado, pues resuelve la problemática en su totalidad. A continuación se enuncian posibles soluciones:

- a) Implementar pantallas transparentes de aislamiento alrededor de la batería acústica.
- b) Utilizar paneles absorbentes alrededor de los amplificadores de instrumentos electrónicos.
- c) Implementar el uso de una consola de audio en la que todas las señales sean mezcladas según el gusto de cada músico, para que luego estas señales sean enviadas a los músicos mediante auriculares con atenuadores de ruido externo.

### **5.2.2. Control en el recinto de ensayo**

El ruido se transmite desde la fuente al trabajador (para este caso, del instrumento o altavoz hacia el músico) por dos medios: a través del aire y a través de la edificación. La medida para controlar la emisión de ruido en el recinto de ensayo puede ser más costosa, y se enuncia a continuación.

- Colocar material absorbente de ruido en el área de ensayo musical, para reducir el nivel de presión sonora que se irradia hacia fuera del recinto.

### **5.2.3. Control sobre el receptor**

En caso de que no se logre alterar el nivel de ruido que se genera en los ensayos musicales, es necesario implementar medidas de cuidado auditivo en los músicos. La forma más fácil y eficiente de impedir que niveles de ruido exagerados causen daño en la audición es utilizar tapones y orejeras de protección auditiva.

### **5.3. Determinación de medidas de prevención y control de ruido**

#### **5.3.1. Medidas en la fuente**

##### **5.3.1.1. Compra y sustitución de nueva tecnología en instrumentos musicales**

Los altos niveles de ruido registrados durante la medición acústica en los recintos de ensayo musical fueron consecuencia, principalmente, del nivel de presión sonora que entrega una batería acústica. Esto da lugar a que los demás instrumentos suban su nivel de presión sonora para poder equiparar la percepción auditiva que se tiene de cada instrumento.

Al implementar el uso de baterías electrónicas digitales, ya no sería necesario subir el nivel de cada instrumento: la batería podría sonar bien a un nivel moderado. Para este caso, una batería eléctrica puede sonar perfectamente bien a unos 70 dBA; por lo tanto, ya no se sobrepasaría el nivel máximo de exposición laboral que establece el código de trabajo para una jornada laboral diaria de dos horas.

#### **5.3.2. Medidas en el receptor**

##### **5.3.2.1. Capacitación sobre riesgos de ruido en el trabajo**

La capacitación es un punto crítico dentro de la prevención de riesgos. Cabe recalcar que, antes de realizar el presente estudio, no se habían realizado capacitaciones sobre el tema.

Con la capacitación sobre la pérdida auditiva por incidencia de ruido, se espera concientizar a los músicos sobre su salud auditiva y los riesgos que implica no implementar medidas de cuidado en su audición.

### **5.3.2.2. Información sobre equipo de protección auditiva**

Los equipos de protección que se recomendaron a los músicos fueron tapones auditivos y orejeras. Los primeros fueron proporcionados durante los ensayos en que el ruido alcanzó niveles mayores a 90 dBA. Como referencia para la elección de tapones auditivos se tomó en cuenta el instrumento que mayor nivel de presión sonora generaba; esto permite conocer con certeza los dBA atenuados por los tapones auditivos. Para la selección de los equipos de protección se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los protectores auditivos deben tener un certificado que garantice su efectividad.
- En las especificaciones se debe comprobar que la atenuación sea la necesaria para cumplir con las normas establecidas localmente.
- Los protectores auditivos no deben ser incómodos al momento de realizar actividades ruidosas.
- Los protectores auditivos no deben comprometer la percepción de sonidos en sus componentes en frecuencia; es decir, solo deben afectar el nivel de escucha.

Para recomendar un tipo de protector, se tomaron en cuenta la facilidad de adquisición y la efectividad que tienen estas orejeras en cuanto a percepción del sonido, así como los dBA que puede reducir y, además, una opinión subjetiva de los músicos.

### **5.3.3. Provisión de equipos de cuidado auditivo para músicos**

Los protectores auditivos son equipos que, debido a sus propiedades para la atenuación de sonido, reducen los efectos del ruido y evitan el daño al oído.

Para este caso en particular, a los músicos (dependiendo del instrumento interpretado) se les recomendó primeramente seleccionar el tipo de protector auditivo a emplear durante su actividad musical.

Los bateristas son los instrumentistas que más incidencia tuvieron en los resultados de pérdida auditiva, debido a los niveles de ruido que generan. Por eso, se seleccionaron dos tipos de protectores auditivos, que se enuncian a continuación.

### 5.3.3.1. Tapones auditivos para ruidos menores a 80 dBA

Este tipo de protector auditivo se recomienda para el ensayo personal de cada músico, sobre todo en el caso de los bateristas, entre quienes existen más problemas de hipoacusia.

### 5.3.3.2. Orejeras antirruído para ruidos iguales o mayores a 80 dBA

Este tipo de protección auditiva es muy recomendable para ensayos grupales de músicos de rock, porque brindan una atenuación de hasta 45 dBA, lo que resulta muy efectivo para el nivel promedio de ensayo (97 dBA).

#### 5.3.3.2.1. Atenuación de ruido de tapón auditivo

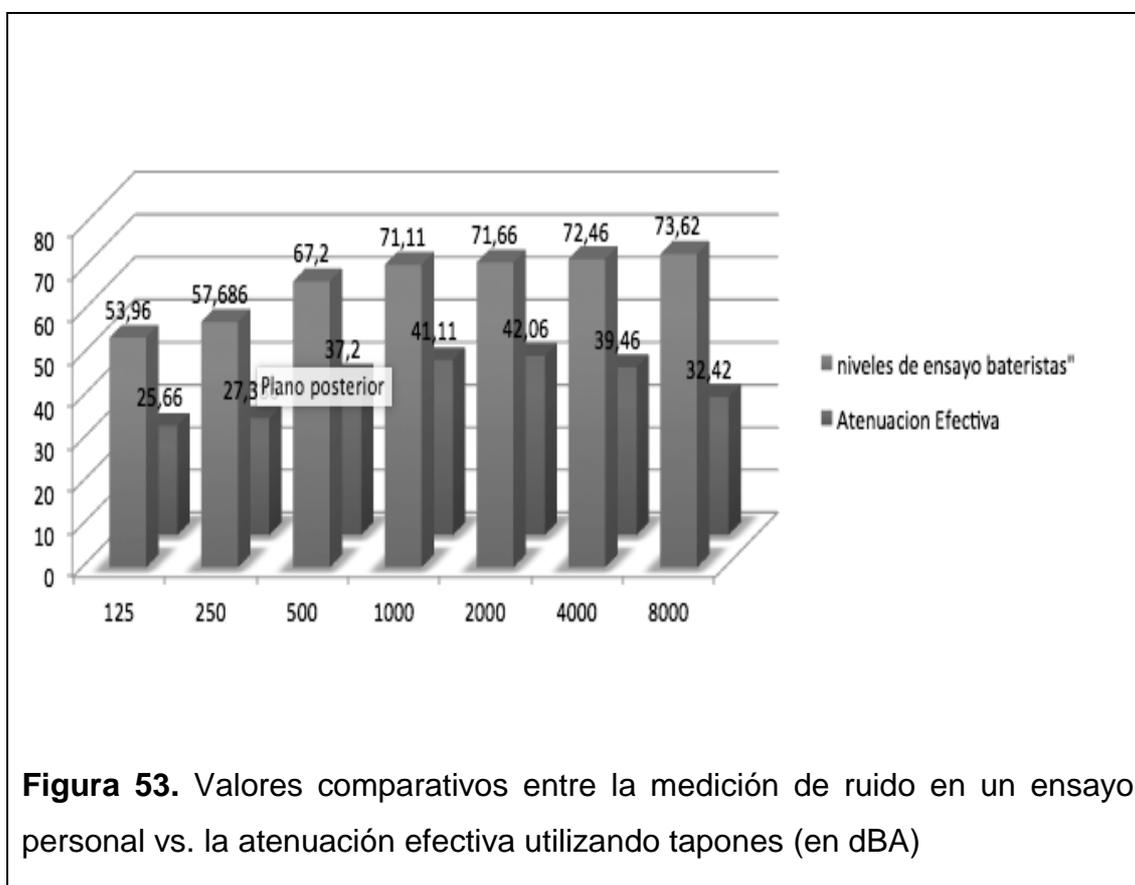
En la siguiente tabla se muestra la atenuación que ofrece esta clase de tapones auditivos. Para este ejemplo se utilizó el tapón 3M 1292, que se recomendó a los músicos utilizar cuando sus niveles no superen los 80 dBA.

**Tabla 21.** Niveles de atenuación de un tapón auditivo promedio, aplicados a la medición de un ensayo de baterista

<b>Banda de octava (Hz)</b>	125	250	500	1000	2000	4000	8000	<b>Total</b>
<b>Nivel de ruido (dBA)</b>	53,9	57,6	67,2	71,1	71,6	72,4	73,6	78,70
<b>Atenuación (dBA)</b>	28,3	30,30	30,0	30,00	29,60	33,00	41,20	42,9
<b>Receptor (dBA)</b>	25,6	27,38	37,2	41,11	42,06	39,46	32,42	32,10

Es evidente que el nivel de ensayo de un baterista no sobrepasa el límite establecido por las normas utilizadas como referencia; sin embargo, se recomienda este tipo de tapones en caso de sentir molestias auditivas o presencia de acúfenos.

La atenuación efectiva de este tipo de tapones es de 42,9 dBA, lo cual ayuda de manera significativa a reducir el nivel de ruido que una persona puede percibir.

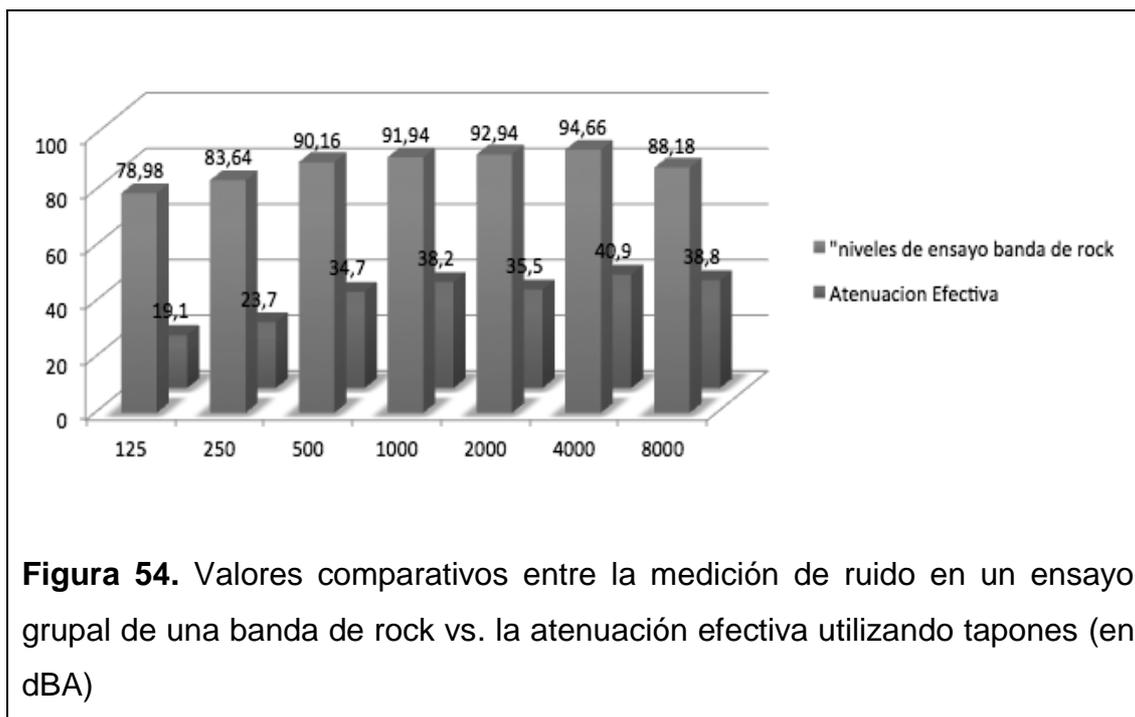


**Figura 53.** Valores comparativos entre la medición de ruido en un ensayo personal vs. la atenuación efectiva utilizando tapones (en dBA)

**Tabla 22.** Niveles de atenuación de orejeras antirruído promedio, aplicados a un ensayo de una banda de rock

<b>Banda de octava (Hz)</b>	125	250	500	1000	2000	4000	8000	<b>Total</b>
<b>Nivel de ruido (dBA)</b>	78,9	83,6	90,1	91,9	92,9	94,6	88,1	99,27
<b>Atenuación (dBA)</b>	19,1	23,7	34,7	38,2	35,5	40,9	38,8	45,11
<b>Receptor (dBA)</b>	59,8	59,94	55,4	53,74	57,44	53,76	49,38	54,16

Este tipo de orejeras está diseñado para atenuar ruidos o sonidos que superen un nivel de 80 dBA. Estos protectores auditivos son efectivos a la hora de atenuar niveles percibidos por los músicos que se encuentran en un ensayo; además, tienen la cualidad de aplanar de alguna manera la forma en la que percibimos el sonido, como se puede ver en los datos mostrados en la fila del receptor.



**Figura 54.** Valores comparativos entre la medición de ruido en un ensayo grupal de una banda de rock vs. la atenuación efectiva utilizando tapones (en dBA)

Como se puede ver, este tipo de orejeras ayuda a mantener un equilibrio entre la manera en que percibimos los sonidos, dando un mayor énfasis de atenuación en las frecuencias en las que el oído humano es más sensible, y menos atenuación en el rango de frecuencia donde el oído es menos sensible (frecuencias de bajos). Estos protectores ayudan a reducir el valor de percepción de nivel de ruido de 99,27 dBA a 54,16 dBA, es decir, cumplen con el propósito para el cual fueron diseñados. En el Anexo 6 se muestran con mayor detalle las especificaciones técnicas de los tapones seleccionados.

#### 5.3.4. Rotación y reducción de horas de ensayo

En muchas ocasiones, un ensayo musical supera los 95 dBA; en consecuencia, se recomienda no realizar esta actividad por más de dos horas. Dicho en otras palabras, se podría dividir el ensayo en una hora de ensayo con batería acústica y una hora de ensayo con batería electrónica; con esto se lograría reducir la exposición al ruido. También se podría dividir el ensayo en una hora un día y otra hora un día distinto de la semana.

### **5.3.5. Vigilancia médica**

Por lo general, los conservatorios de música o los lugares donde se practica música de manera académica no cuentan con un programa de vigilancia médica para los músicos. La implementación de centros de cuidado auditivo brindará asesoramiento a los músicos para cuidar su audición.

El parámetro que permitió evaluar la gestión de la medida dada fue el porcentaje de avance o cumplimiento de establecimiento de un proceso de vigilancia médica, dentro de la cual se incluyen procedimientos y la creación de acciones en beneficio de la salud de los músicos. Con ello, el músico podría realizarse una audiometría o examen auditivo cada año, para controlar a tiempo cualquier problema de audición en sus etapas iniciales.

### **5.3.6. Compromiso de los músicos**

Luego de concientizar a los músicos sobre la importancia de su salud auditiva, se llegó al compromiso de realizarse revisiones periódicas en sus oídos, de tal manera que se pueda detectar cualquier problema auditivo y aplicar una solución efectiva a tiempo. Además, se recalcó la importancia de mantenerse informado acerca de equipos de protección auditiva.

#### **5.3.6.1. Plan de acción para concientizar sobre la pérdida auditiva**

##### **5.3.6.1.1. Uso libre de la aplicación predictiva de pérdida auditiva**

Si bien el objetivo principal de este trabajo era generar una aplicación predictiva para concientizar a los músicos acerca de la importancia de tener una buena salud auditiva, es necesario difundir esta información, para lo cual se ha implementado el siguiente plan de acción:

#### **5.3.6.1.1.1. Colocar la aplicación en la red**

La aplicación predictiva se encuentra actualmente en la página de Facebook: “[https://www.facebook.com/Campanaantiruidorock?skip\\_nax\\_wizard=true&ref\\_type=logout\\_gear](https://www.facebook.com/Campanaantiruidorock?skip_nax_wizard=true&ref_type=logout_gear)”. Ahora los músicos tienen acceso gratuito a esta herramienta, que se plantea como objetivo dar al usuario una idea de los riesgos que conlleva estar expuesto a actividades ruidosas sin protección auditiva. Sin embargo, es necesario divulgar esta herramienta para que pueda ser utilizada por todos los músicos; es ahí donde nace la necesidad de utilizar campañas informativas para reforzar la aplicación.

#### **5.3.6.1.1.2. Operativo de información**

Si bien este trabajo está enfocado principalmente a la salud auditiva de los músicos, no resulta muy práctico realizar una campaña para un grupo minoritario de la sociedad. Sin embargo, en la encuesta subjetiva realizada a los músicos se encuentra un factor presente tanto en ellos como en el resto de personas: la utilización de auriculares en los reproductores de música. Esto se puede tomar como pilar fundamental de la campaña.

Debido a que los jóvenes menores de 18 años, según los datos estadísticos presentes en la norma ISO UNE-EN 7029, no presentan daño alguno en su audición, es en esta porción de la población donde se enfoca principalmente el plan de acción, para evitar así un daño auditivo en quienes se estén iniciando como intérpretes musicales.

#### **5.3.6.1.1.3. Campañas con visitas escolares**

Principalmente, esta campaña será de carácter informativo sobre los peligros de escuchar música con auriculares a niveles elevados. Sin embargo, no se deberán descuidar otros aspectos que juegan un papel importante en el cuidado de la salud auditiva.

La iniciativa consiste en entregar, a cada estudiante presente en los lugares donde se realicen las campañas, material informativo sobre qué tipos de audífonos es recomendable utilizar y con qué tiempo de exposición es saludable escuchar música. El material será entregado por estudiantes de Ingeniería en Sonido y Acústica o ramas afines al tema, para despejar así cualquier duda que puedan tener las personas que asistan a las campañas de concientización.

Aunque no se tienen cifras oficiales sobre el porcentaje de personas con hipoacusia en el Ecuador, se encontró que en países de la región existe un 30% de personas mayores de 65 años con hipoacusia, y para personas adultas mayores de 80 años el porcentaje aumenta al 60%. Ellos deberían ser incluidos en los panfletos informativos, tomando en cuenta que hace 80 años el uso de auriculares para escuchar música era nulo. Por lo tanto, se espera un mayor porcentaje de población con hipoacusia si no se realiza este tipo de campañas.

La campaña también tiene como objetivo invitar a las personas a que se realicen revisiones periódicas en centros especializados en salud auditiva; por ejemplo, en la fundación Vista para Todos, donde los costos son relativamente bajos por ser una entidad de carácter público.

Para reforzar el alcance de la campaña sobre protección auditiva, se sugiere instalar *stands* en las entradas de centros universitarios y estaciones de metrobús de la ciudad de Quito.

Según se afirmó con mucha preocupación en el Congreso Panamericano de Salud Auditiva efectuado en Mar del Plata en el año 2012, aproximadamente el 30% de la población total de adolescentes tendrá hipoacusia cuando llegue a la edad adulta. Por lo tanto, es clave atacar a este grupo de la sociedad con material informativo para evitar la hipoacusia en la etapa de adultez.

Si bien la campaña solo tiene un fin informativo, vale la pena acotar que en otros países de la región se están presentando proyectos en los que se pone

un límite de nivel de presión sonora para los audífonos que se pueden comercializar en su territorio.

Normalmente, un reproductor de música puede generar niveles de hasta 100 dB, y, según normas ecuatorianas de cuidado auditivo, a ese nivel solo sería posible escuchar música durante una hora. Aunque no se tengan cifras oficiales, las personas suelen escuchar música con audífonos en el trayecto hacia sus lugares de trabajo o estudio, y este trayecto, en muchos casos, dura más de una hora diaria, lo que da como consecuencia una alta probabilidad de sufrir hipoacusia si no se tiene conocimiento de esta información. Es allí donde nace la necesidad de divulgar todo tipo de información sobre el cuidado auditivo.

A continuación se muestra un presupuesto para realizar seminarios acerca de la importancia de tener una buena calidad de salud auditiva. Las charlas serían dictadas por ingenieros en Sonido y Acústica, y por profesionales de la salud.

**Tabla 22.** Costo económico por realizar charlas informativas sobre cuidado auditivo

<b>Descripción del tipo de curso</b>	<b>Horas de preparación</b>	<b>Número de personas</b>	<b>Duración del curso (horas)</b>	<b>Costo por dictar el curso (\$)</b>
Equipo de protección auditiva	4	200	4	800
Salud y seguridad ocupacional	4	200	4	800
Enfermedades causadas por sobreexposición al ruido	10	200	4	800
Normas y comités de salud auditiva laboral	10	200	4	800
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>800</b>	<b>16</b>	<b>3200</b>

### **5.3.6.1.2. Prevención y tratamiento de la pérdida de audición en el nivel primario de salud**

La calidad de salud auditiva que tiene una persona puede mejorar significativamente con la utilización de prácticas sencillas sobre el cuidado del oído, como evitar la exposición prolongada a niveles altos de ruido o evitar introducir cuerpos extraños en el canal auditivo.

La mayor parte de los programas de cuidado auditivo que existen en nuestro país se basan únicamente en la aplicación de procedimientos para corregir o tratar problemas de audición. Sin embargo, los problemas del oído y la audición, así como el uso de aparatos auditivos, a menudo se vinculan con concepciones erróneas. Los programas nacionales deben, por lo tanto, centrarse no solo en la prevención y la prestación de servicios, sino también en concientizar a la población sobre los problemas permanentes que pueden aparecer en su audición si no se toman los cuidados necesarios.

## **5.4. Análisis económico**

En la ciudad de Quito existen 418 músicos que practican la música rock. De ellos, el 14,5% tiene una alta predisposición a presentar claros indicios de hipoacusia durante su vida.

Aproximadamente, un paciente con afecciones de audición gasta en promedio entre 75 y 500 dólares anuales en servicios médicos relacionados con la afección (Guzmán, 2015, p. 90).

### **Datos**

Número de músicos que practican rock en la ciudad de Quito: 418

Número de músicos de rock con hipoacusia en la ciudad de Quito: 60

Costo de tratamiento anual de hipoacusia: \$ 300 (en promedio)

Costo total de tratamiento de hipoacusia en Quito: \$ 18 000

Si tomamos en cuenta que el 14,5% de músicos de rock tiene una alta predisposición a presentar claros indicios de hipoacusia, el costo total anual del tratamiento de hipoacusia sería de \$ 18 000. Este costo es pagado en su mayoría por los propios músicos, si no cuentan con algún tipo de seguro médico.

## **6. Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1. Conclusiones**

Los niveles de escucha a los que generalmente ensaya una banda de rock en la ciudad de Quito superan el máximo nivel de exposición continuo equivalente que establece la norma correspondiente: 95 dBA. En Quito, las bandas de rock ensayan, en promedio, a 97 dBA.

El 35% de los músicos admite tener presencia de acúfenos, ya sea de manera temporal o permanente.

Los bateristas son los músicos que presentan en mayor cantidad un desplazamiento de su umbral auditivo en relación a lo establecido en la norma y en el índice de pérdida auditiva ELI y SAL

No existe o es muy poca la información que han recibido los músicos sobre cuidado y protección auditiva.

Los músicos comprendidos entre los 10 y los 29 años son los que más practican el género de rock.

No existe una norma local a seguir en cuanto a salud ocupacional para exclusivamente músicos

En la bandas de octava de los 4000 y 8000 Hz es donde presentan un mayor desplazamiento auditivo los músicos en general.

Un alto porcentaje de músicos admite escuchar música a niveles altos cuando utiliza audífonos.

En términos generales, el desgaste auditivo es apenas superior en el oído derecho con relación al oído izquierdo, aunque para fines prácticos hayan sufrido un desplazamiento de umbral auditivo similar.

En promedio, los músicos de rock ensayan dos horas diarias, tres días a la semana, a un nivel sonoro continuo equivalente de 99,27 dBA.

El *software* de predicción auditiva resulta muy útil para concientizar sobre la necesidad de tener un cuidado auditivo en músicos, debido a que muestra cómo seguirá el desgaste de su audición si no se toman los cuidados necesarios.

Los músicos con mayor edad son los que más problemas de audición presentan.

La solución efectiva con la que los músicos estuvieron más de acuerdo fue la utilización de tapones auditivos durante las jornadas de ensayo musical.

El instrumento que más aporta con nivel de ruido equivalente es la batería acústica, aun sin poseer amplificación en los lugares de ensayo. Por lo tanto, los demás músicos tienen que equiparar estos niveles subiendo los niveles de salida de sus amplificadores.

Los músicos que presentan hipoacusia en menor cantidad, según el índice ELI, son los vocalistas. Esto se debe a que no necesitan ningún tipo de amplificación durante sus prácticas personales.

Se espera que el uso de la aplicación predictiva ayude a disminuir los casos de hipoacusia.

Si bien la aplicación predictiva puede ayudar concienciar a los músicos sobre su salud auditiva no es 100% certera en sus resultados, porque no se toma en cuenta actividades extra musicales que realicen los instrumentistas.

Los resultados de las audiometrías pueden diferir si se los realiza en centros profesionales, sin embargo, el uso de las normas ISO garantiza un nivel de confianza de los mismos.

Al realizar campañas preventivas sobre el cuidado auditivo se espera que los valores de desplazamiento de umbral auditivo difieran de los obtenidos en este documento dentro de varias décadas.

No fue posible realizar una comparación con otros géneros musicales porque no se encontró documento alguno sobre este tipo de estudio en la ciudad de Quito.

## **6.2. Recomendaciones**

- Se deberían realizar campañas de concientización sobre el ruido que existe en la ciudad de Quito; de lo contrario, se espera que el número de casos de personas con hipoacusia siga en aumento.
- Realizar los ensayos audiométricos en centros especializados en esta área brindaría resultados más claros. Debido a la dificultad que implica movilizar la cabina audiométrica a los lugares de ensayo, las variables

inherentes al lugar donde se realizaron las audiometrías podrían afectar al resultado.

- Utilizar paneles acústicos alrededor de la batería acústica ayudaría significativamente a reducir el nivel de ruido del ensayo global de los músicos de rock.
- Se debería aplicar algún tipo de aislamiento acústico en los lugares de ensayo musical, dado que algunos de estos lugares no cuentan con este tipo de solución acústica, lo que podría llevar a una penalización por parte de las autoridades encargadas, pues la emisión de niveles de ruido sobrepasa el límite establecido para las zonas donde se encuentran ubicados algunos de estos lugares.
- Utilizar tecnología nueva, como baterías electrónicas, significaría una disminución patente de los niveles de ensayo general.
- Clasificar a los diferentes tipos de músicos según las actividades extramusicales que realizan ayudaría a tener una visión más clara de los factores que influyen en su desgaste auditivo.
- Reunir a grupos más grandes de músicos para realizar las audiometrías en un solo lugar y evitar la movilización de la cabina audiométrica reduciría los costos del proyecto.
- Se deberían revisar periódicamente las normativas vigentes para realizar estudios de deterioro auditivo.
- Los planes nacionales ya existentes en algunos países pueden servir como modelo para los países que aún carecen de estrategias para abordar mejor la pérdida de audición discapacitante. Sin embargo, cada país tiene que desarrollar un plan único en función de su situación

específica, de las causas prevalentes de pérdida auditiva y de la infraestructura de salud disponible.

- Tomar este documento como base para realizar estudios similares en otros géneros de música en la ciudad de Quito.
- Realizar las campañas de concientización auditiva que se mencionan en este documento y mejorarlas tanto en alcance como en contenido.
- Se recomienda mejorar la capacidad de predicción de la aplicación predictiva incluyendo mas variables tanto directas como indirectas.

## REFERENCIAS

Anónimo, (2009). *Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo*. Quito: INSS editorial

Azpiroz, Borja (2010) *Acústica Básica*. Tomado de <http://escenografia.cl/acustica.htm#5> (2015, Febrero).

Beranek, Leo (1960). *Noise Reduction*. Nueva York: McGraw-Hill Book Company.

Consejo Interterritorial (2000). *Ruido*. Mérida: Imprenta Moreno.

Decreto Ejecutivo 2393. (1986) *Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente del Trabajo*. Quito: Corporación de Estudios y Publicaciones.

EAR Company. (2011). *Glosario de Términos*. Tomado de <http://www.e-ar.com.mx/lam/Page.asp?PageNumber=303> (Mayo, 2011).

Falagán, M. J. (2009). *Higiene industrial aplicada*. Madrid: Fundación Luis Fernández Velasco.

Federico Miyara (1999). *Acústica y sistemas de sonido*, Buenos Aires: UNR Editora.

Fletcher, Harvey y W. A. Munson (1933). "Loudness, its definition, measurement and calculation". *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 2, N.º 4: 377-430.

Fundación MAPFRE (1995). *Manual de Ergonomía*. Madrid: AGRD editoriales.

Gallego, James y Sánchez (1992). *Audiología, Visión de Hoy*. Manizales: Editorial Universidad Católica de Manizales.

Guzmán, Sergio (2015). *Estudio del impacto laboral en el sistema auditivo de odontólogos en la ciudad de Quito*.

INSHT (1986). *Condiciones de Trabajo y Salud*. Madrid: INSHT.

Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo (IRSST) (2006). *Hipoacusia Laboral*. Madrid: BOCM editorials.

ISO 1990 (1999). *Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment*. Ginebra: International Organization for Standardization.

ISO 7029:1984 (1984). *Acoustics – Threshold of hearing by air conduction as a function of age and sex for otologically normal persons*. Ginebra: International Organization for Standardization.

ISO UNE 74-023-02 (1994). *Determinación de exposición al ruido en el trabajo y estimación de las pérdidas auditivas inducidas por el ruido*. Madrid.

ISO UNE-EN 7029 (1992). *Distribución estadística de umbrales de audición en función de la edad*. Madrid.

ISO UNE-EN 8253.2 (1992). *Métodos de ensayos audiométricos. Parte 2: Audiometría en campo sonoro con señales de ensayo de tono puro y banda estrecha*. Madrid.

Johnson, Richard (1994). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros de Miller y Freund*. Juarez: Prentice Hall Hispanoamericana.

Lalwani, Anil (2008). *Diagnóstico y Tratamiento en Otorrinolaringología*. México D. F.: Editorial McGrawHill.

Larregui, Gabriela (2011). *Hipoacusia Inducida por la Música*. Caracas: Editorial AD-HOC.

Olmo, Juan (2013). *La Hipoacusia Ocupacional, el Índice de Pérdida Auditiva Prematura ELI*. Barcelona: Editorial Masson.

Perelló, E. (2003). *Tratado de Audiología*. México DF Editorial Masson S. A.

Pinto, F. (2014). *Estadística inferencial*. Bogotá: Marton editoriales.

ReSound (2010). *Cómo se cuantifica la pérdida auditiva*. Tomado de <http://www.gnresound.es/el%20de%20la%20audiencia/about-hearing-loss/what-does-hearing-loss-mean> (Julio, 2013).

Real Decreto 286/ 2006. (2006). *Protección de la Salud y Seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a ruido*. Gobierno de Navarra. Madrid: INSL editoriales.

Robledo, F. (2007). *Riesgos Físicos*. Bogotá: Ecoe ediciones.

Santos, Z. (2010). *Deficiencia, discapacidad y minusvalía auditiva*. Tomado de <http://www.vocesenelsilencio.org.ar/notas/RevisTeorica.pdf> (Mayo, 2012).

S. Stach, --- y --- Brad (2003). *Comprehensive Dictionary of Audiology*. Atlanta.: Delmar Cenagage Learning.

T. Villas, --- y --- Ribot (2006). *Norma Técnica de Prevención NTP 136*. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España.

## **ANEXOS**

## Anexo 1: Glosario de términos

- **Atenuación:** Reducción del nivel de presión acústica (EAR Company, 2011, p. 15).
- **Audiograma:** Gráfico que muestra la capacidad auditiva de una persona en una gama de frecuencias (EAR Company, 2011, p. 15).
- **Curvas isofónicas:** Curvas de igual sonoridad. Dicho en otras palabras, estas curvas representan gráficamente el nivel necesario para que una banda de frecuencias sea percibida de igual manera en todas las bandas de frecuencia restantes.
- **Nivel diario equivalente:** Nivel de ruido equivalente normalizado para una jornada de trabajo de ocho horas (Real Decreto 286/2006, 2006, p. 12).
- **Pascal** (símbolo: Pa): Unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.
- **Ponderación A:** Medición del ruido que se ha corregido para reflejar la forma en que percibiría el ruido un ser humano. Indica mejor el daño potencial que puede causar un ruido en el oído (EAR Company, 2011, p. 12).
- **Tiempo de exposición:** Período de tiempo que un trabajador está expuesto a una determinada intensidad de ruido (Real Decreto 286/2006, 2006, p. 10).

## Anexo 2: Especificaciones técnicas de audífonos Sennheiser PXC 450

<b>Technical data</b>	
Converter principle	dynamic, closed
Coupling to the ear	circumaural
Transmission range	8 – 28,000 Hz
Rated impedance active/ passive	750/150 Ohm
Sound pressure levels at 1 kHz and 1 volt	108 dB SPL
Harmonic distortion at 1 kHz	0,1 %
Cable plug	3.5-mm stereo plug
Inflight adapter	2 x 3.5-mm mono plug
Audio adapter	6.3-mm stereo plug
Cable length	1.4 m
Weight without cable and battery	275 g
Voltage battery/ rechargeable battery (Micro/AAA)	1.2 – 1.5 V
Passive sound insulation	≤ 32 dB
Sound compensation by NoiseGard	≤ 23 dB

**Figura 30.** Especificaciones técnicas de audífonos Sennheiser PXC 450  
(tomado de [www.sennheiser.com](http://www.sennheiser.com))

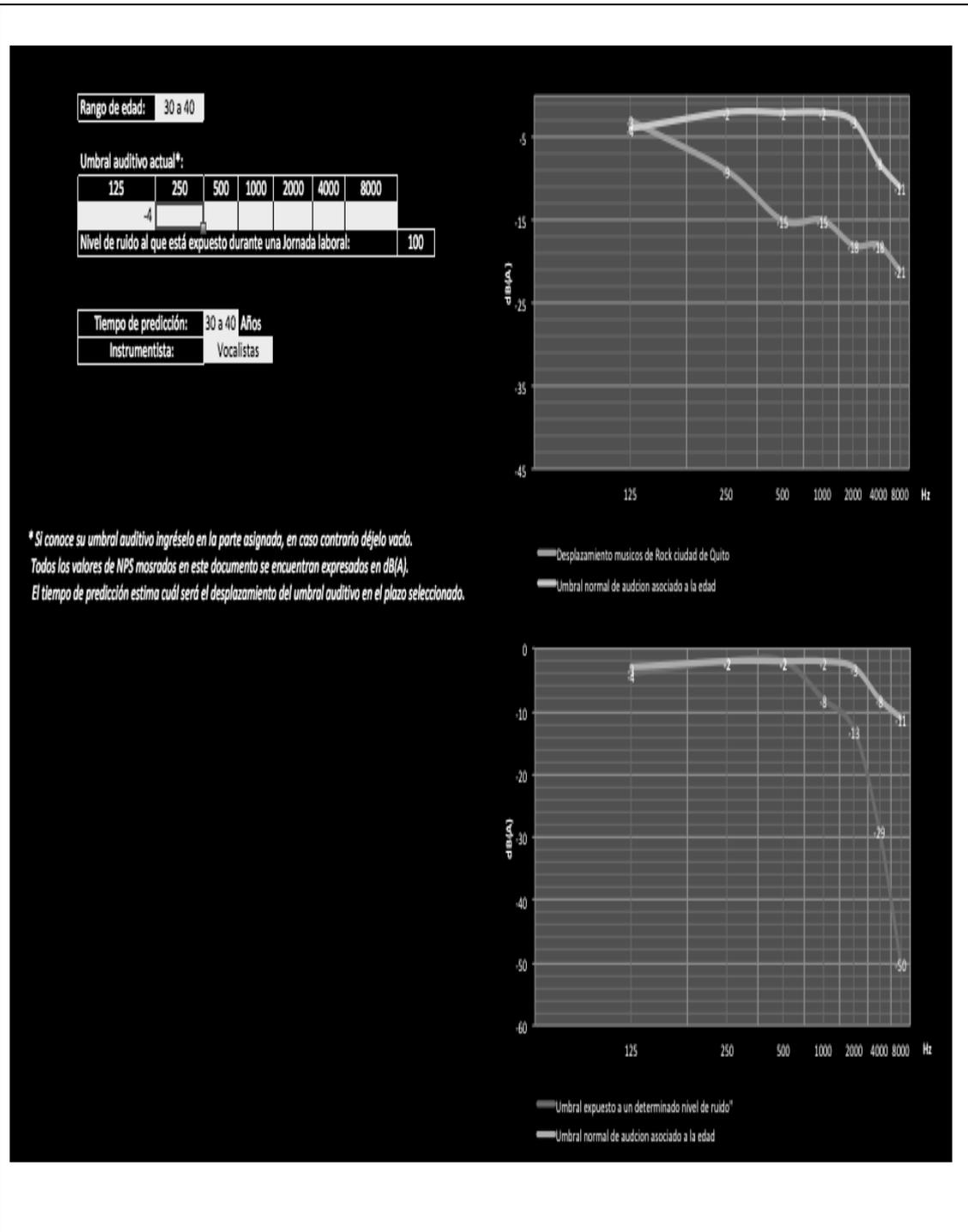
**Anexo 3: Tabla de niveles de presión acústica máximos admisibles para cabinas audiométricas, tomado de la norma ISO 8253-2:2009**

<b>Frecuencia central de las bandas de octava (Hz)</b>	<b>Niveles de presión acústica máximos admisibles (dB)</b>
125	25
250	10
500	5
1000	4
2000	5
4000	-1
8000	12

### Anexo 4: Modelo de hoja de audiometría utilizada en el software Excel

ID	3	NOMBRE	David Rodriguez	Genero	Masculino	Edad	27	Fecha	9/10/14	Instrumento	Guitarra	tiempo de ejecucion	11																																																																																																																																																																																																																																																																							
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">Oído izquierdo</th> <th colspan="6">Oído derecho</th> </tr> <tr> <th>Hz</th> <th>125</th> <th>250</th> <th>500</th> <th>1000</th> <th>2000</th> <th>4000</th> <th>8000</th> <th>16000</th> <th>Hz</th> <th>125</th> <th>250</th> <th>500</th> <th>1000</th> <th>2000</th> <th>4000</th> <th>8000</th> <th>16000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>dB (HL)</td> <td>-3</td> <td>-8,5</td> <td>-10</td> <td>-14,5</td> <td>-15,5</td> <td>-15</td> <td>-14,5</td> <td>-14</td> <td>dB (HL)</td> <td>-3</td> <td>-11,5</td> <td>-10</td> <td>-17,5</td> <td>-15,5</td> <td>-18</td> <td>-14,5</td> <td>-14</td> </tr> <tr> <td>SPL (dB) referencia</td> <td>45</td> <td>24,5</td> <td>11</td> <td>6,5</td> <td>8,5</td> <td>9</td> <td>9,5</td> <td>10</td> <td>SPL (dB) refe</td> <td>45</td> <td>24,5</td> <td>11</td> <td>6,5</td> <td>8,5</td> <td>9</td> <td>9,5</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>SPL (dB)</td> <td>48</td> <td>33</td> <td>21</td> <td>21</td> <td>24</td> <td>24</td> <td>24</td> <td>24</td> <td>SPL (dB)</td> <td>48</td> <td>36</td> <td>21</td> <td>24</td> <td>24</td> <td>27</td> <td>24</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-1</td> <td>-1</td> <td>-1</td> <td>-2</td> <td>-3</td> <td>-4</td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-1</td> <td>-1</td> <td>-1</td> <td>-2</td> <td>-3</td> <td>-4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-3</td> <td>-8,5</td> <td>-9</td> <td>-13,5</td> <td>-14,5</td> <td>-13</td> <td>-11,5</td> <td>-10</td> <td></td> <td>-3</td> <td>-11,5</td> <td>-9</td> <td>-16,5</td> <td>-14,5</td> <td>-16</td> <td>-11,5</td> <td>-10</td> </tr> <tr> <td></td> <td>125</td> <td>-3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>125</td> <td>-3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>250</td> <td>-8,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>250</td> <td>-11,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>500</td> <td>-10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>500</td> <td>-10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>1000</td> <td>-14,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1000</td> <td>-17,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>2000</td> <td>-15,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2000</td> <td>-15,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>4000</td> <td>-15</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4000</td> <td>-18</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>8000</td> <td>-14,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8000</td> <td>-14,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>16000</td> <td>-14</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>16000</td> <td>-14</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>													Oído izquierdo						Oído derecho						Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	dB (HL)	-3	-8,5	-10	-14,5	-15,5	-15	-14,5	-14	dB (HL)	-3	-11,5	-10	-17,5	-15,5	-18	-14,5	-14	SPL (dB) referencia	45	24,5	11	6,5	8,5	9	9,5	10	SPL (dB) refe	45	24,5	11	6,5	8,5	9	9,5	10	SPL (dB)	48	33	21	21	24	24	24	24	SPL (dB)	48	36	21	24	24	27	24	24		0	0	-1	-1	-1	-2	-3	-4		0	0	-1	-1	-1	-2	-3	-4		-3	-8,5	-9	-13,5	-14,5	-13	-11,5	-10		-3	-11,5	-9	-16,5	-14,5	-16	-11,5	-10		125	-3								125	-3								250	-8,5								250	-11,5								500	-10								500	-10								1000	-14,5								1000	-17,5								2000	-15,5								2000	-15,5								4000	-15								4000	-18								8000	-14,5								8000	-14,5								16000	-14								16000	-14						
Oído izquierdo						Oído derecho																																																																																																																																																																																																																																																																														
Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000																																																																																																																																																																																																																																																																			
dB (HL)	-3	-8,5	-10	-14,5	-15,5	-15	-14,5	-14	dB (HL)	-3	-11,5	-10	-17,5	-15,5	-18	-14,5	-14																																																																																																																																																																																																																																																																			
SPL (dB) referencia	45	24,5	11	6,5	8,5	9	9,5	10	SPL (dB) refe	45	24,5	11	6,5	8,5	9	9,5	10																																																																																																																																																																																																																																																																			
SPL (dB)	48	33	21	21	24	24	24	24	SPL (dB)	48	36	21	24	24	27	24	24																																																																																																																																																																																																																																																																			
	0	0	-1	-1	-1	-2	-3	-4		0	0	-1	-1	-1	-2	-3	-4																																																																																																																																																																																																																																																																			
	-3	-8,5	-9	-13,5	-14,5	-13	-11,5	-10		-3	-11,5	-9	-16,5	-14,5	-16	-11,5	-10																																																																																																																																																																																																																																																																			
	125	-3								125	-3																																																																																																																																																																																																																																																																									
	250	-8,5								250	-11,5																																																																																																																																																																																																																																																																									
	500	-10								500	-10																																																																																																																																																																																																																																																																									
	1000	-14,5								1000	-17,5																																																																																																																																																																																																																																																																									
	2000	-15,5								2000	-15,5																																																																																																																																																																																																																																																																									
	4000	-15								4000	-18																																																																																																																																																																																																																																																																									
	8000	-14,5								8000	-14,5																																																																																																																																																																																																																																																																									
	16000	-14								16000	-14																																																																																																																																																																																																																																																																									

## Anexo 5: Aplicación predictiva de umbrales de audición



## Anexo 6: Especificaciones técnicas de tapones auditivos 3M-1000, tomado de [www.indura.net](http://www.indura.net)

### ■ Descripción

Los tapones protectores auditivos desechables 1100 son fabricados con materiales hipoalergénicos, brindan una efectiva e higiénica protección a los trabajadores que se desempeñan en áreas donde los niveles de ruido superan los 85 dB(A) por jornada de trabajo de 8 hrs.

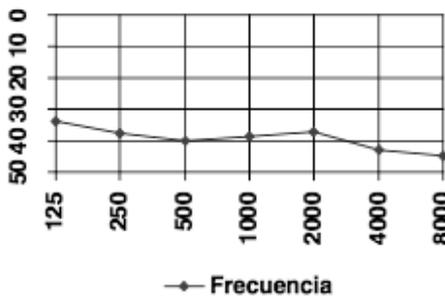
Su forma cónica y su superficie perfectamente lisa han sido específicamente diseñadas para adaptarse cómodamente a la mayoría de los canales auditivos, el color naranja del tapón 1100 permite una fácil visualización y comprobación de uso en los lugares de trabajo.

### ■ Aplicaciones

Los tapones auditivos 1100 pueden utilizarse en aquellas industrias donde exista riesgo de exposición a ruido, tales como construcción, procesos de maderas, metalurgia, o donde existan motores o turbinas. los protectores auditivos 1100 están recomendados especialmente en condiciones de trabajo donde exista humedad o calor.

### ■ Atenuación

Valores medios de atenuación para tapones auditivos 1100 según lo establecido en la norma ANSI S3.19-1974



Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRR
Atenuación en el oído (dB(A))	33.9	37.7	39.8	38.5	37.0	41.9	42.7	45.5	44.6	29
Desviación estándar	4.7	5.5	5.6	4.8	3.1	3.8	3.4	4.0	3.4	

La tasa de reducción de ruido (NRR) calculada a partir de los valores de atenuación es de 29dB, cuando los tapones están correctamente colocados.

De acuerdo a Norma Europea el SNR es de:37dB;  
H: 37dB - M: 34dB - L: 31dB

### ■ Recomendaciones de Uso

El nivel de ruido que entra al oído de una persona, cuando usa el protector auditivo según las instrucciones, es muy cercano a la diferencia entre el nivel de ruido ambiental compensado en A y la tasa de reducción de ruido (NRR).

Ejemplo.

- 1.- El nivel de ruido ambiental medido en el oído es de 92 dBA.
- 2.- El NRR es de 29 decibeles (dB).
- 3.- El Nivel de ruido que entra al oído es aproximadamente de 63 dBA.

### ■ Garantía

La única responsabilidad del vendedor o fabricante será la de reemplazar la cantidad de este producto que se pruebe ser defectuoso de fábrica. Ante esto, el cliente deberá presentar su inquietud a nuestro call center (600-300-3636), quienes le informaran como proceder según sea el caso (devolución, reembolso, reemplazo, etc.).

Ni el vendedor ni el fabricante serán responsables de cualquier lesión personal pérdida o daños ya sean directos o consecuentes que resulten del uso de este producto.

Antes de usarlo, el usuario deberá determinar si el producto es apropiado para el uso pretendido y el usuario asume toda responsabilidad y riesgo en conexión con dicho uso.

### ■ Garantía

Pieza/Bolsa	Bolsa/Caja	Pieza/Caja
100	5	500

**Anexo 7: Fotografías del procedimiento de mediciones acústicas en los lugares de ensayo musical**



### Anexo 8. Cabina audiométrica utilizada



### Anexo 9. Procedimiento del ensayo audiométrico



**Anexo 10. Fotografías del procedimiento de calibración de equipos utilizados en los ensayos audiométricos**



**Anexo 11. archivo con base de datos de audiometrías**

**Anexo 12. Aplicación predictiva de desplazamiento de umbral de audición en músicos de rock de la ciudad de Quito.**