



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN IOS PARA LA MEDICIÓN
DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA GENERADOS POR AUDÍFONOS.

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

Profesor Guía
Ing. Christiam Garzón MSc.

Autor
Jairo Ciseron Guerrero Balseca

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”.

Christiam Santiago Garzón Pico.

Master en sonido y Acústica.

C.I. 1713644621

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que el presente Trabajo de Titulación es original de mi autoría, que se han citado las fuentes de información bajo las normativas APA UDLA y que se han respetado las disposiciones que protegen los derechos de autor.”

Jairo Ciserón Guerrero Balseca

CI. 1500791346

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente en primer lugar a Jehová mi Dios, ya que gracias a él he podido tener el privilegio de conocer a familiares y amigos, en especial a Marisela Balseca, Ciserón Guerrero mi padre y mis hermanos quienes con tiempo y dinero me apoyaron en la consecución de este gran sueño.

DEDICATORIA

Dedico este título a una persona muy especial, mi fuente de inspiración y motivación, mi primera maestra, aquella que me dio la vida, mi madre María Balseca quien entregando su vida potenció la mía.

La dedico a mis hermanos, David, Deisy, Darío por su ayuda y consejos a mi hermana menor Shirley a quien quiero mucho, a mis sobrinos y sobrinas.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación fue realizado con el fin de crear una aplicación para dispositivos IOS de la empresa Apple, específicamente el iPhone 4s, para informar a los usuarios de reproductores de música portátiles los niveles sonoros que producen los auriculares *Earpods* propios de esta empresa, y mediante un reloj en cuenta regresiva informar al usuario el tiempo de escucha recomendado por normativas reguladoras del tiempo de exposición en ambiente laboral.

Por medio de la construcción de una cabeza humana artificial, se pudo conocer los niveles producidos dentro del oído como también, la capacidad de aislamiento que presentan los dispositivos *Earpods*, esta información fue comparada con la producida por otros dispositivos auriculares.

Los datos analizados revelan que el uso de reproductores de música a un nivel alto durante un período prolongado de tiempo puede ocasionar la pérdida irreversible de la audición.

La última etapa del proyecto consistió en la elaboración de una aplicación para dispositivos IOS, basada en la bibliografía analizada y los resultados obtenidos en los experimentos y encuestas. El software utilizado para el desarrollo de la aplicación "*Healthy Music*" fue el "*XCode*", distribuido gratuitamente por la misma empresa Apple.

ABSTRACT

This thesis work was carried out to create an application for Apple IOS devices, especially for the iPhone 4s; to be able to inform the users of portable media players the sound levels produced by Ear-Pod earphones made by the same company, and with the count-down clock inform the user of the recommended listening time using the regulations of exposure time in the work zone.

By constructing an artificial human head, the levels produced inside of the ear and the isolating capacity of the Ear-Pod listening device were found. This information was then compared with levels produced by other listening devices. After an analysis of the gathered information, it was found that using music players at a high volume level for prolonged periods of time can cause irreversible loss of hearing.

The last stage of the project consisted in creating a program for IOS devices, based upon the analyzed data and the results obtained in the experiments and polls that were made. The software used in the development of the application "Healthy Music" was the "XCode", freely distributed by the same company Apple.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I Introducción.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos.....	2
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación.....	3
2. CAPÍTULO II Marco Teórico	4
2.1 Definiciones generales.....	4
2.1.1. Sonido.....	4
2.1.2. Longitud de onda.....	5
2.1.3. Frecuencia.....	5
2.1.4. Período.....	6
2.1.5. Amplitud.....	6
2.1.6. Decibelio.....	7
2.1.7. Presión sonora.....	7
2.1.8. Nivel de presión sonora (NPS).....	8
2.1.9. Nivel sonoro continuo equivalente.....	8
2.1.10. Sonoridad.....	8
2.1.11. Curvas de ponderación.....	9
2.1.11.1. Análisis de la ponderación "A".....	10
2.2. El aparato auditivo.....	11
2.2.1. El oído.....	11
2.2.1.1. Oído externo.....	12
2.2.1.2. Oído medio.....	13
2.2.1.3. Oído interno.....	15
2.3. Pérdida auditiva y sus fases.....	16
2.3.1. Primera fase.....	16
2.3.2. Segunda fase.....	17
2.3.3. Tercera fase.....	17
2.3.4. Cuarta fase.....	18

2.4. Efectos positivos de los sonidos.	19
2.5. Normativas para la regulación de niveles de exposición al ruido.....	19
2.5.1. Normativa Ecuatoriana.	19
2.5.2. Normativa Chilena.	20
2.5.3. Normativa Española.	22
2.5.4. Normativa Norteamericana.....	22
2.5.5. Organización Mundial de la Salud.	24
2.5.6. Comparación de la normativa Nacional.	24
2.6. Tipos de dispositivos auriculares para la reproducción de música sus ventajas y desventajas....	25
2.6.1. Earbuds.	26
2.6.2. In-Ear.....	26
2.6.3. Clip-Ear.....	27
2.6.4. Auriculares Bluetooth.....	28
2.6.5. Supra-Aurales.....	29
2.6.6. Circomaurales.	29
2.6.7. <i>Earpods</i>	30
2.7. Fundamentos del Xcode.	32
2.7.1. Objective-C.....	32
2.7.2. Cocoa Touch.	33
2.7.3. Interfaz gráfica.....	33
2.7.3.1. Barra de herramientas.	34
2.7.3.2. Editor.	34
2.7.3.3. Navegador.	34
2.7.3.4. Depurador.....	34
2.7.3.5. Menú de utilidades.....	34
2.7.4. Simulador.	34
3. CAPÍTULO III Desarrollo	36
3.1. Aspectos Generales.	36
3.1.1. Normativa de dosis de ruido seleccionada.	36

3.1.2. Niveles de sonoridad de la aplicación.	36
3.1.3 Contador regresivo de tiempo.	37
3.1.4 Compensación de Niveles mínimos.	38
3.2. Construcción de la cabeza de prueba.....	38
3.2.1. Materiales.....	38
3.2.2. Mediciones.	41
3.2.2.1. Espectro de frecuencia.....	42
3.2.2.2. Aislamiento sonoro.	44
3.3. Líneas de programación importantes de la aplicación “Healthy Music”.....	46
3.3.1. Nivel en dB del archivo de audio.	46
3.3.2. Ecuación para transformar dB instantáneos en nivel sonoro equivalente.....	46
3.3.3. Ecuación para obtener el tiempo restante en función del nivel sonoro equivalente.....	46
4.1. Datos estadísticos de la encuesta.	48
4.1.1. Análisis de resultados por preguntas.....	48
5. CAPÍTULO V Proyecciones.....	54
6. CAPÍTULO VI Conclusiones y Recomendaciones.....	56
6.1. Conclusiones.	56
6.2. Recomendaciones.	58
REFERENCIAS.....	59
ANEXOS.....	63

Introducción.

El sentido de la audición es muy importante no solo para actividades recreativas sino también en actividades comunes como manejar, cruzar una calle, receptar información sonora que puede ser de vital importancia en el diario vivir.

El presente trabajo investigativo procura conocer los niveles de presión sonora que recibe el oído cuando un individuo escucha música. Haciendo uso de las normativas que regulan los tiempos y niveles de exposición a ruido, se procura desarrollar una aplicación que permita al usuario conocer su nivel de escucha y basados en una normativa, la aplicación muestre en pantalla el tiempo de escucha restante mediante un reloj en cuenta regresiva.

Existen algunos dispositivos en el mercado que procuran limitar el nivel de escucha como mecanismo de cuidado auditivo, dicha opción es desactivada o ignorada por los usuarios ya que el nivel de escucha también dependerá del ruido ambiental.

La importancia de este trabajo radica en la necesidad de generar conciencia auditiva en los usuarios de reproductores de música portátiles, informando sobre lo nocivos que pueden ser ciertos niveles de escucha y su estrecha relación con los tiempos de exposición.

1.1. Objetivos.

1.1.1. Objetivo General.

Crear una aplicación para el iPhone 4s que permita determinar el nivel de escucha en audífonos *Earpods* y el tiempo de exposición basados en normativas de dosis de ruido.

1.1.2 Objetivos Específicos.

- Realizar encuestas para evaluar criterios de los usuarios a la hora de escuchar música con dispositivos auriculares.
- Simular mediante un dispositivo las condiciones del oído interno para medir con el sonómetro los niveles sonoros dentro del oído generados por los *Earpods*
- Definir la relación más óptima entre los niveles y tiempos de escucha en los intraauriculares *Earpods*, basados en el análisis de normativas de dosis de ruido.
- Conocer las herramientas necesarias para la programación de aplicaciones de dispositivos IOS de la empresa Apple.

1.2. Antecedentes.

El exponencial desarrollo de las tecnologías de almacenamiento y reproducción musical han popularizado el uso de reproductores de música portátiles, los mismos que con la ayuda de un par de auriculares permiten al usuario escuchar su música preferida a cualquier hora y en cualquier lugar, esta actividad es realizada muchas veces de manera irresponsable, causando prematuros problemas auditivos en sus usuarios. Expertos en el tema han demostrado que cuando el oído se expone a sonidos de alto nivel los daños pueden ser incluso irreversibles (hipoacusia o sordera). También es importante destacar lo perjudicial que es someter el sentido de la audición a tiempos prolongados de escucha musical con auriculares. Estudios realizados en Europa muestran que los niveles producidos por dispositivos reproductores de música van desde los 60 a los 120 dB.

Empresas fabricantes de dispositivos de reproducción portátiles como de celulares inteligentes, han procurado incluir entre sus opciones, un indicador de

nivel de escucha peligroso. Para la elaboración de la aplicación se consideró también, los tiempos de exposición ya que estos se relacionan también con la pérdida auditiva.

1.3. Justificación.

Debido a la falta de aplicaciones que informen sobre los niveles y tiempos de exposición saludables en los reproductores de música portátiles, se propone el diseño e implementación de una aplicación para iPhone 4s que muestre el nivel de presión sonora (volumen) en audífonos que se radia en el oído, y el tiempo máximo de exposición recomendados por normativas de dosis de ruido.

El aporte de este trabajo a la sociedad, es proporcionar un medio para cuidar la audición de los usuarios de reproductores de música portátiles, con lo cual se pretende reducir el daño auditivo causado por el uso de estos dispositivos.

CAPÍTULO II Marco Teórico

2.1 Definiciones generales.

2.1.1. Sonido.

En física se conoce como la propagación de energía acústica en forma de ondas por medio de un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso), Este fenómeno es producido por cuerpos vibrantes.

La velocidad de propagación del sonido no depende de las características de la perturbación sino de las características del medio. Esto da a entender que la velocidad de propagación del sonido no depende de la frecuencia ni de la intensidad, es decir, tanto sonidos producidos por un bombo o por un flautín, o por la turbina de un avión o un susurro, viajan a la misma velocidad si están en un mismo medio.

Si se considera al aire como un gas ideal, se concluye que la velocidad del sonido en el aire depende de la temperatura, como lo expresa la siguiente fórmula (Rocamora, M. 2006).

$$c = 332 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

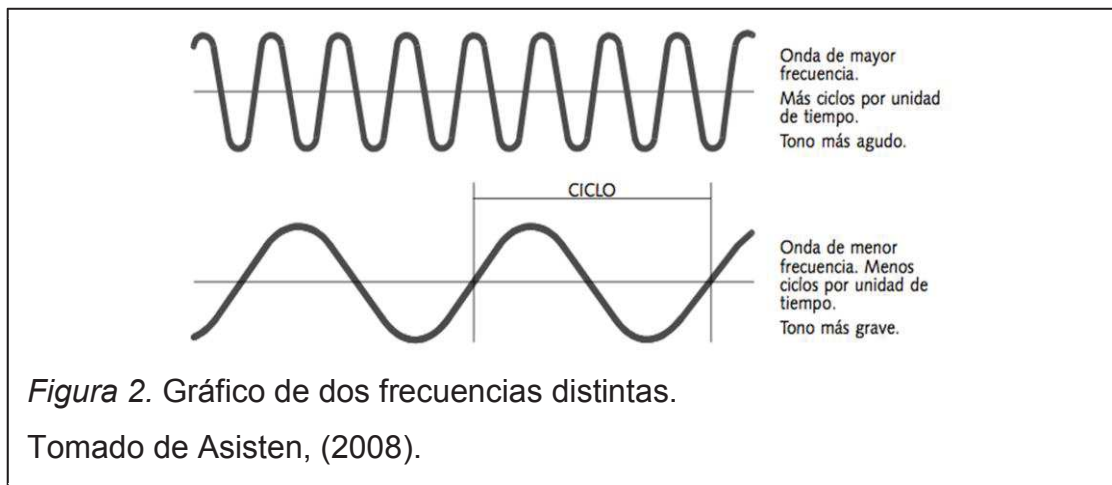
c = Velocidad del sonido en el aire expresada en m/s.

t = Temperatura del aire expresada en grados centígrados °C.

En condiciones normales la velocidad del sonido en el aire es de 344m/s a 20 °C (1200 Km/h, es decir, necesita tres segundos para recorrer 1Km). Esta velocidad aumenta un 18% por cada °C

La velocidad del sonido depende del medio en el que se esté propagando, por ejemplo, en líquidos como el agua la velocidad es de 1440 m/s, y mayor aun en sólidos como el acero que es de 5000 m/s.

El rango de frecuencias audibles va desde los 20 a 20.000 Hz, la sensación que estas nos producen es que a mayor frecuencia el sonido es más agudo y a menor frecuencia, más grave.



2.1.4. Período.

“Es el tiempo que transcurre entre una perturbación y la siguiente”, “el período de los sonidos audibles para el ser humano varía entre los 0.05 milisegundos (sonidos muy agudos) y los 50 ms (sonidos muy graves) (Miyara, 2004, pp. 6). Estos tiempos son muy pequeños, por lo cual al cerebro humano le resulta difícil percibir las perturbaciones como fenómenos separados. Se relacionan con la frecuencia por medio de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{1}{f} \quad (\text{Ecuación 3})$$

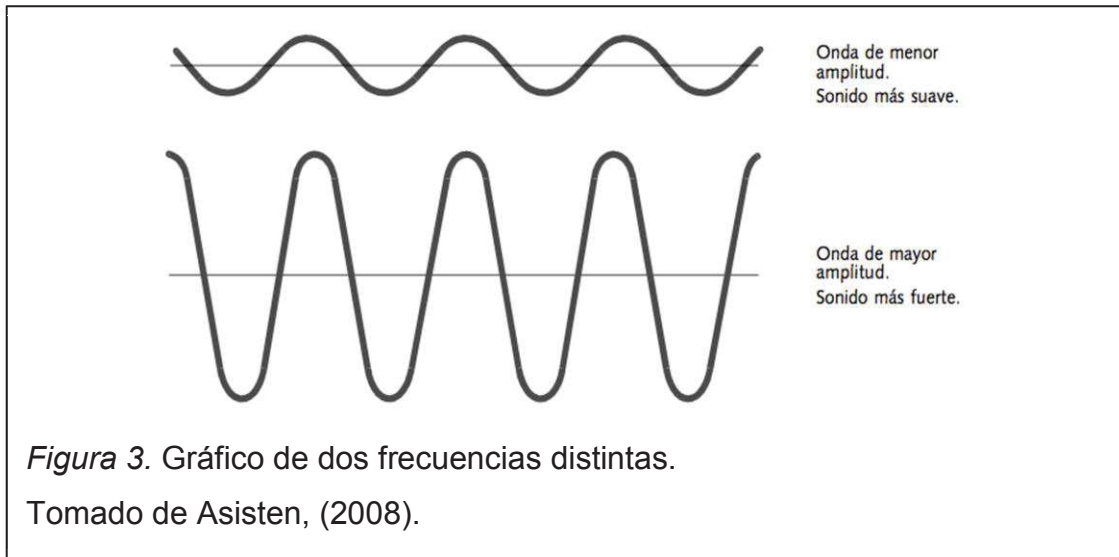
Donde:

T = período.

f = frecuencia.

2.1.5. Amplitud.

La amplitud se refiere a la altura de una onda, en una onda sonora expresa la intensidad o volumen. Amplitud cero equivale a silencio, amplitudes pequeñas equivalen a sonidos leves y amplitudes grandes a sonidos fuertes o intensos.



La unidad de medida para la amplitud más utilizada es el decibel, debido a que el sentido de la audición no reacciona de manera lineal, si no de manera logarítmica.

2.1.6. Decibelio.

El decibelio es la unidad relativa empleada en acústica, telecomunicaciones, electricidad, entre otras, con el fin de expresar la relación entre dos magnitudes, una a la cual se estudia, y otra de referencia. Con mayor frecuencia se las encuentra describiendo magnitudes acústicas pero también son utilizadas para expresar magnitudes lumínicas y eléctricas.

El decibelio es una unidad logarítmica, adimensional y matemáticamente escalar. es la décima parte de un belio, un belio representa un aumento de potencia de 10 veces sobre la magnitud de referencia, el belio recibió este nombre en honor a Alexander Graham Bell.

2.1.7. Presión sonora.

La unidad adoptada internacionalmente para la presión es el pascal (Pa), las variaciones de presión entre las partículas de aire son relativamente pequeñas comparadas con la presión atmosférica que es del orden de los 100000Pa, la presión sonora expresa los cambios de presión en dichas partículas de aire producidas por ondas sonoras, el umbral de dolor audible está dentro de los 20Pa y el de la sensación de audición en los 0.00002 Pa (20 μ Pa.).

2.1.8. Nivel de presión sonora (NPS).

El nivel de presión sonora es una magnitud producida al comparar logarítmicamente a un valor de presión sonora de 20 micro pascales (umbral mínimo de percepción de sonido) y una presión instantánea medida. La fórmula para calcularla es la siguiente.

$$NPS = 20 \log \frac{P_i}{P_{ref}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

P_i = Presión instantánea.

P_{ref} = Presión de referencia 20 μ Pa.

Los NPS de 0dB y 120dB corresponden al mínimo nivel de percepción sonora y al umbral del dolor auditivo respectivamente.

2.1.9. Nivel sonoro continuo equivalente.

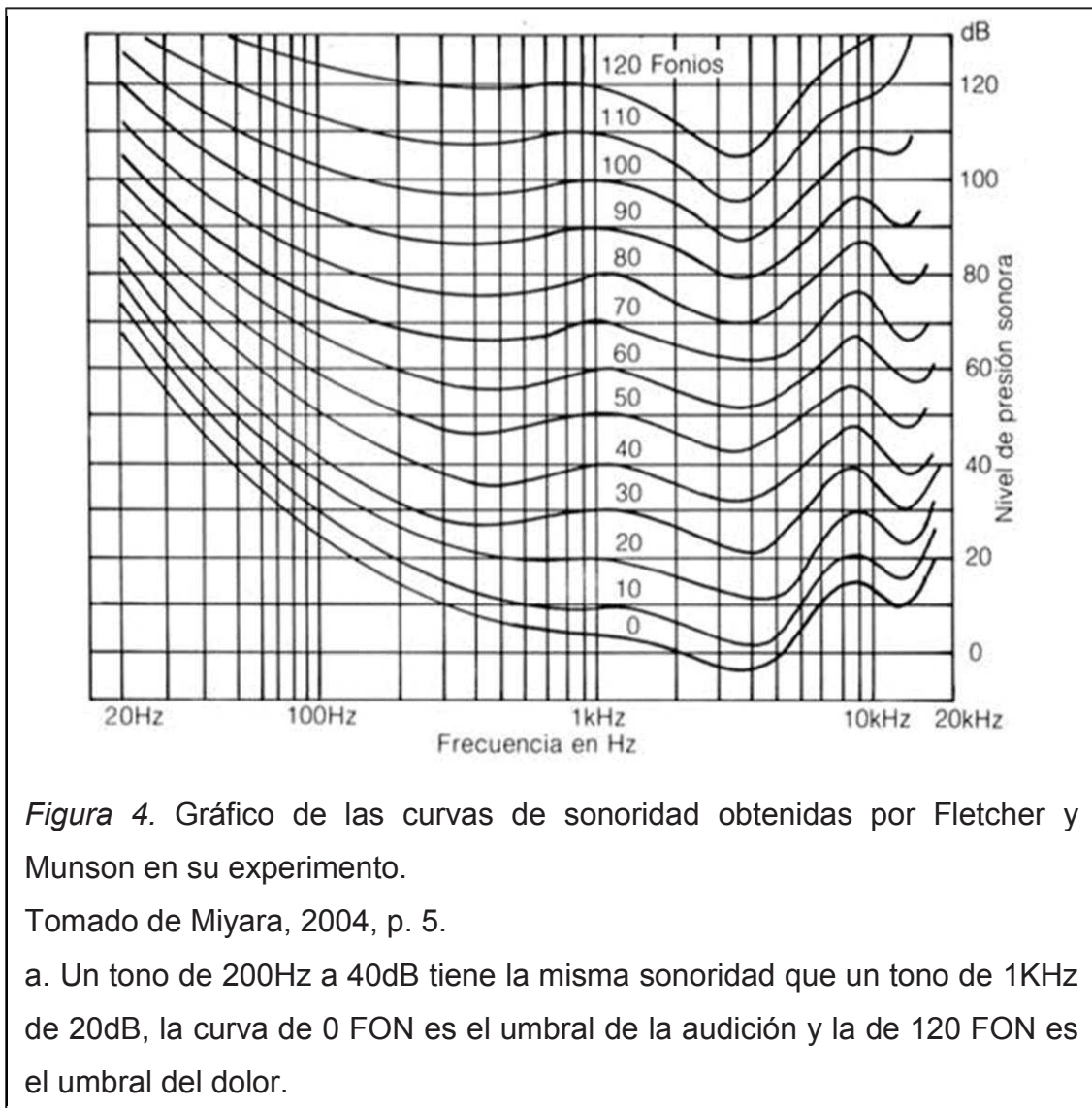
Es muy utilizado para hacer la medición de una posible contaminación acústica, para lo cual el ruido medido es equivalente al del ruido no variable en nivel durante todo el intervalo de tiempo ya que tiene su mismo contenido energético, es un promedio logarítmico de nivel.

$$Leq = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n 10^{\frac{Li}{10}} \right] \quad (\text{Ecuación 5})$$

2.1.10. Sonoridad.

La sensación de sonoridad es más conocida como volumen o intensidad de los sonidos, esta sensación podría ser directamente relacionada con la amplitud, pero debido a que el oído es más sensible en las frecuencias centrales (500Hz a 5KHz), se experimenta mayor sensación de sonoridad en éstas.

Fletcher y Munson, dos investigadores norteamericanos llevaron a cabo un experimento que consistía hacer escuchar a personas un tono de referencia de 1KHz a 40 dB, luego se les hizo escuchar otras frecuencias y se les pidió que igualaran el nivel de ambas frecuencias. Los datos que arrojó el experimento se encuentran expresados en el siguiente gráfico.

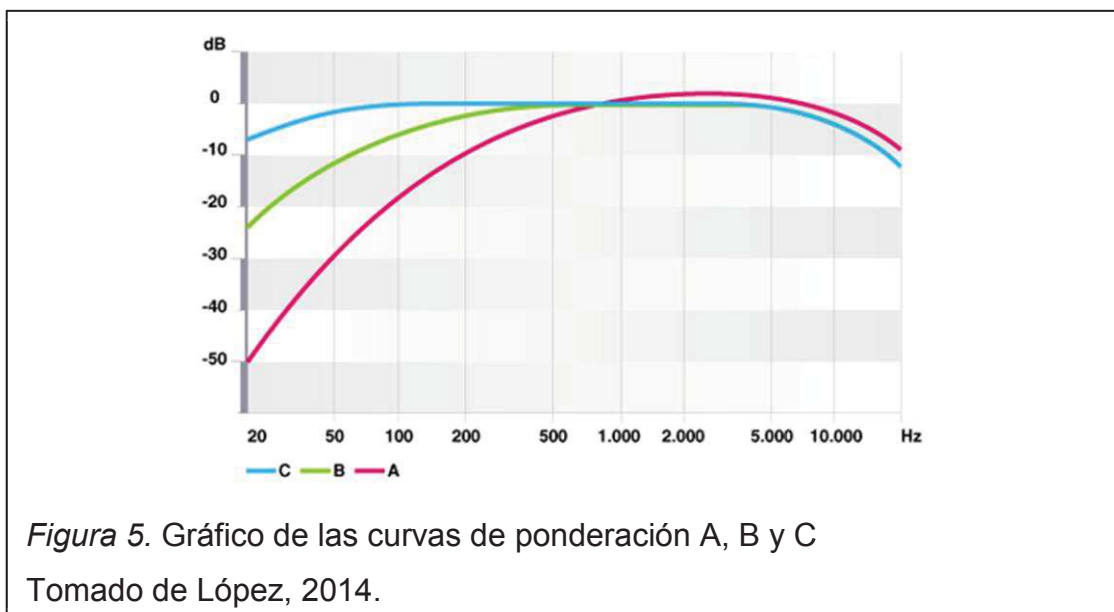


2.1.11. Curvas de ponderación.

Las curvas de ponderación nacen por la necesidad de intentar aproximar los analizadores acústicos a la respuesta del oído, de esta manera surgieron las curvas A, B y C.

Se usa a la ponderación “A” cuando los niveles fluctúan entre un NPS de 40 dB, la ponderación “B” cuando los niveles se ubican entre los 70dB de NPS y la curva C para niveles superiores a los NPS de 100dB.

Las ponderaciones procuran compensar en cada banda de frecuencia el nivel de energía sonora para asemejarlo a la respuesta del oído humano, el resultado de la medición se logra sumando logarítmicamente a cada una de las bandas con su respectiva compensación por banda de frecuencia, esto según la compensación que se haya seleccionado ya sea para expresar dBA, dBB, o dBC según sea el caso.



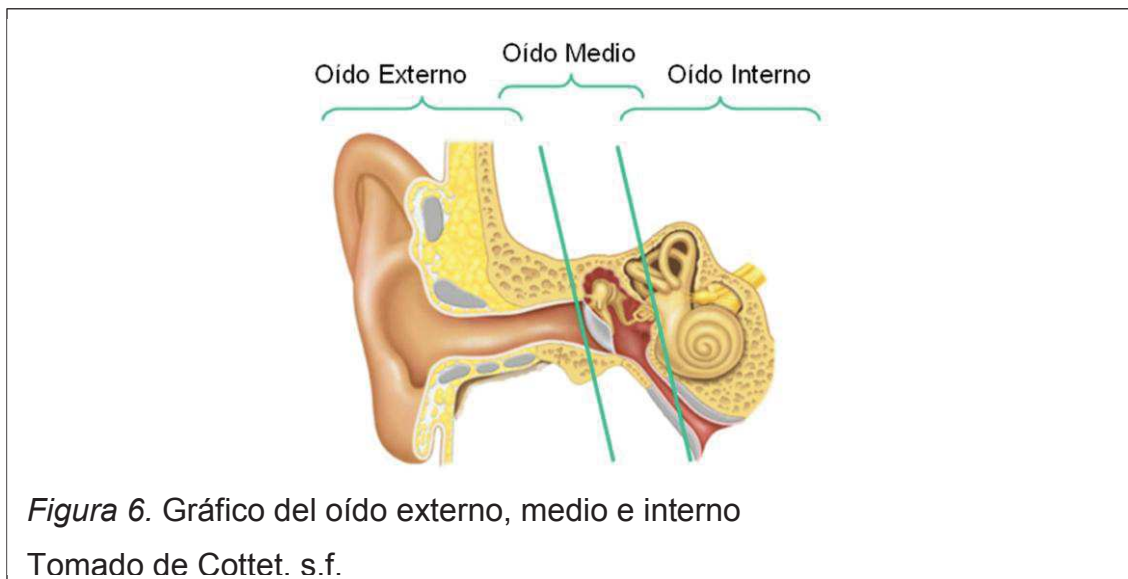
2.1.11.1. Análisis de la ponderación “A”.

La curva de ponderación “A” originalmente fue definida para evaluar niveles de presión sonora comprendidos entre los 24 y 55dB, hoy en día esta ponderación es utilizada incluso para evaluar niveles emitidos en el ambiente industrial, discotecas, recintos en los cuales los niveles sobrepasan de sobre manera el nivel para el que fue creada, siendo por esta razón una ponderación poco representativa a la reacción del mecanismo auditivo humano, el cual difiere no solo en frecuencia, sino también de acuerdo al nivel como claramente lo evidencian las gráficas de sonoridad obtenidas por Fletcher y Munson en su experimento.

En la gráfica se distingue una diferencia de aproximadamente 40dB, los cuales se deben aumentar al nivel sonoro de una frecuencia de 40Hz para que tenga la misma sensación sonora que producen 40dB en 1KHz, a diferencia de los 20 dB que diferencian a estas dos frecuencias cuando el nivel de referencia es de 100dB.

2.2. El aparato auditivo.

2.2.1. El oído.



Es el mecanismo por medio del cual ciertas especies de seres vivos logran interpretar las variaciones de presión definidas en ciertos rangos de frecuencia como sonido. El oído humano es un sistema complejo de transducción, basado en principios mecánicos, acústicos y eléctricos.

En el oído se distinguen tres procesos de transducción, están son: oído externo, medio e interno.



2.2.1.1. Oído externo.

El pabellón auricular.

Comúnmente llamado oreja, aporta en la detección de la procedencia de los sonidos, Los ejemplares más grandes miden 6cm aproximadamente, ecualizando los sonidos que ingresan al oído desde los 1500 Hz o 2.000 Hz, debido a las irregularidades que lo caracterizan, semejantes a las de un difusor acústico. Incrementa el nivel de las frecuencias desde los 4000 Hz o 5000 Hz (Blauert, 2001).

El pabellón auditivo también cumple las funciones de resonador acústico pero para conocer las frecuencias a las que afecta es necesario conocer el ángulo de incidencia de las ondas sonoras. Además, pueden registrarse variaciones significativas en la respuesta de diferentes individuos debido a la forma del pabellón auditivo. Estas diferencias son máximas sobre 6 kHz (Moore, 2003).

Conducto Auditivo.

Conduce la energía sonora hasta el tímpano y debido a su estructura cilíndrica “colorea” el sonido brindando mayor sensibilidad en las frecuencias donde se desarrolla el habla humana, su comportamiento es muy similar al de un tubo abierto en un extremo, resonando en frecuencias cuya longitud de onda es 4 veces la longitud del tubo:

$$f_0 = \frac{c}{4L} \quad (\text{Ecuación 6})$$

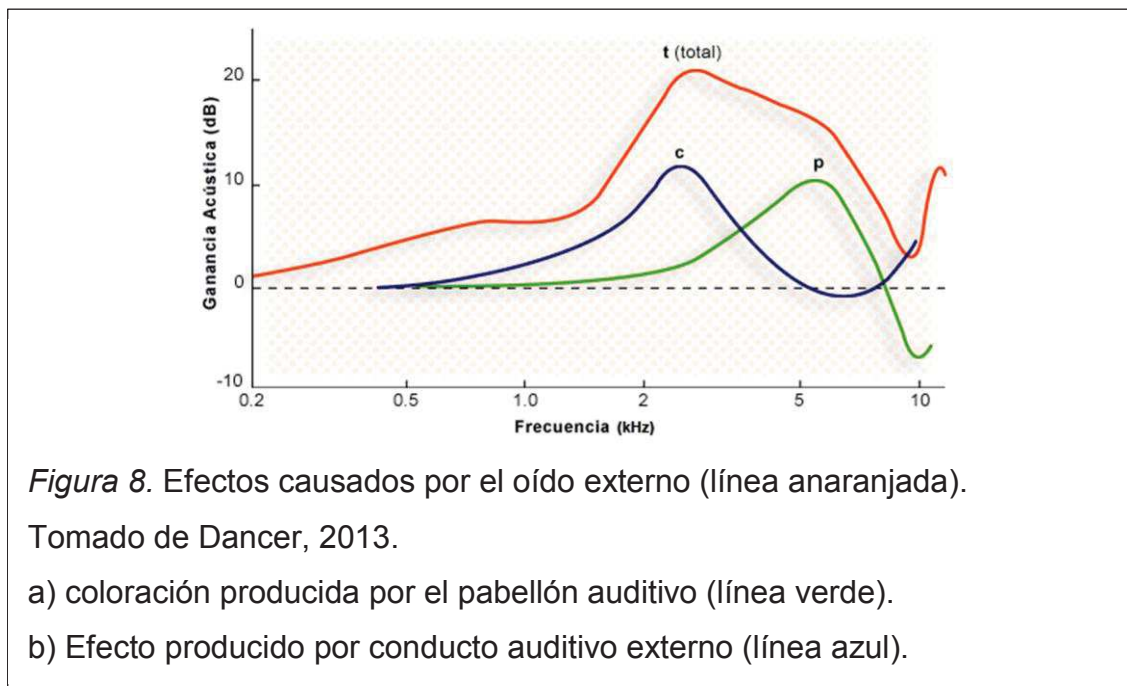
Donde:

f_0 = Frecuencia de resonancia.

c = Velocidad del sonido en el aire.

L = Longitud del tubo

El canal auditivo de un adulto es de aproximadamente, 0.023m, si se multiplica este valor por cuatro y se divide entre 344 (velocidad aproximada del sonido en el aire), se obtiene 3.739, este valor viene a ser la frecuencia alrededor de la cual se produce la resonancia, esta frecuencia coincide con el rango de mayor sensibilidad auditiva humana, aunque algunos autores como Recuero la ubican en los 3.500 Hz y Kryter y Arenas en los 4.000 Hz

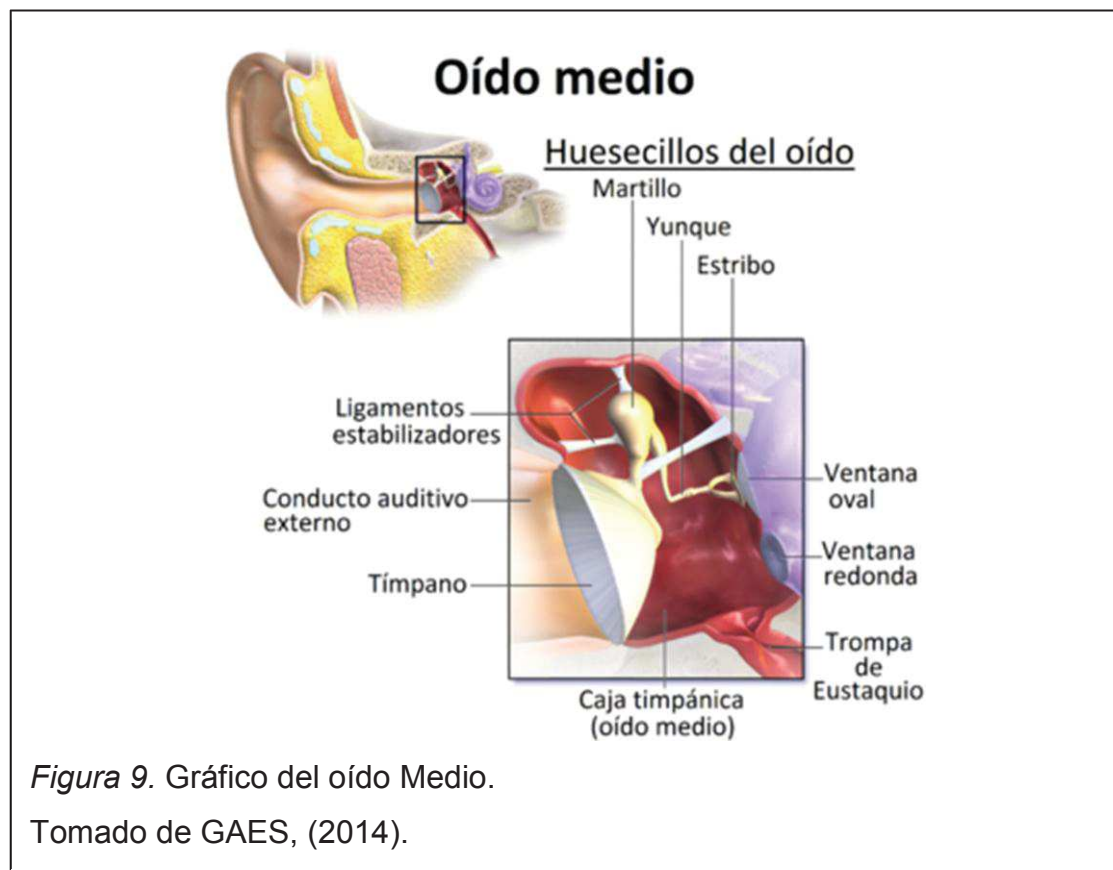


2.2.1.2. Oído medio.

El oído medio está conformado por tres huesecillos denominados Martillo Yunque y Estribo, el primero de estos ligado al tímpano, estos se encuentran ubicados en la Caja timpánica sujetos por ligamentos estabilizadores o tensores, la encargada de hacer corresponder la presión interna del oído medio con la presión ambiente externa es la Trompa de Eustaquio. El último de los

tres huesecillos está ligado a la ventana oval, descargando en esta la energía mecánica amplificada 1.3 veces gracias al efecto de palanca brindado por la cadena de huesecillos. (Miyara, 2000).

La diferencia de superficies entre la ventana oval (15 veces inferior a la del tímpano), produce una amplificación adicional del sonido que ingresa al oído interno.



En el oído medio la coloración se produce en frecuencias medias, comprendidas entre los 500 Hz y 4.000 Hz (Moore, 20013).

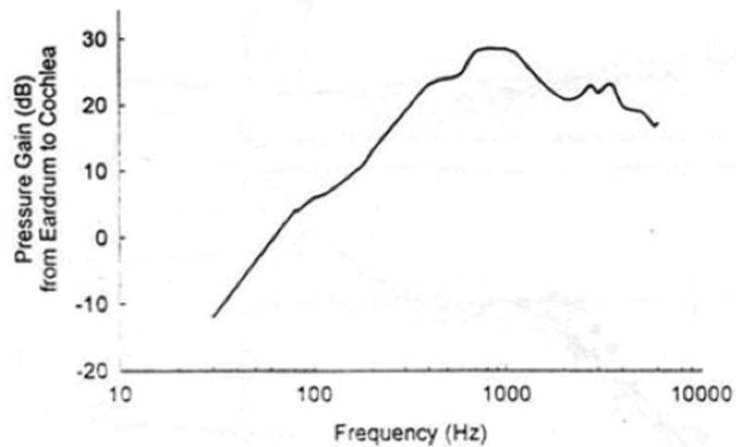


Figura 10. Función de transferencia producida en el oído medio
Tomado de Gelfand, 1998.

2.2.1.3. Oído interno.

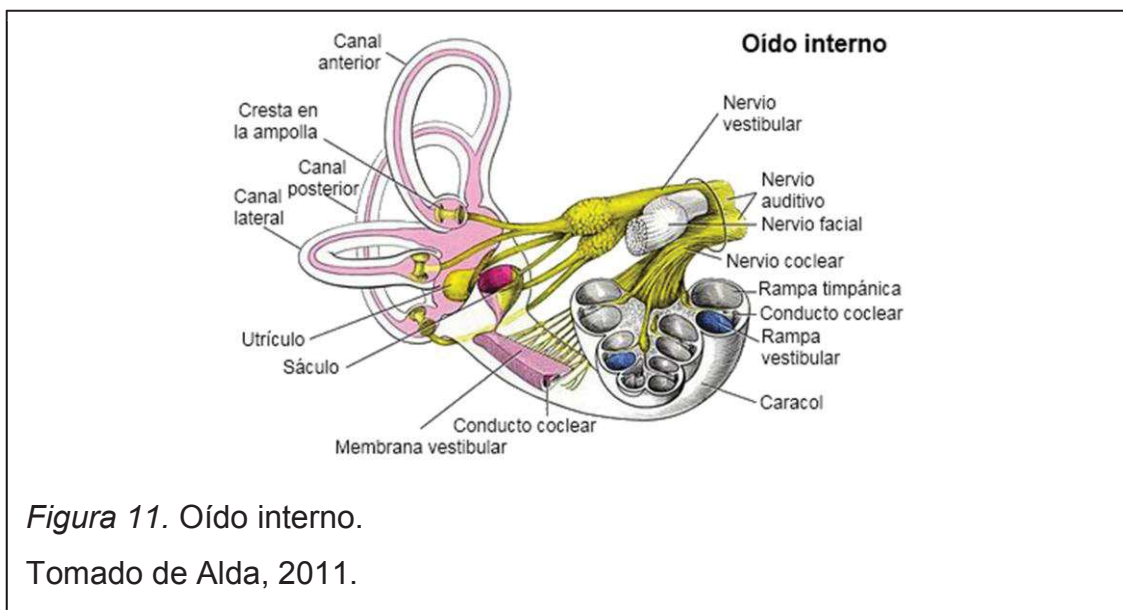
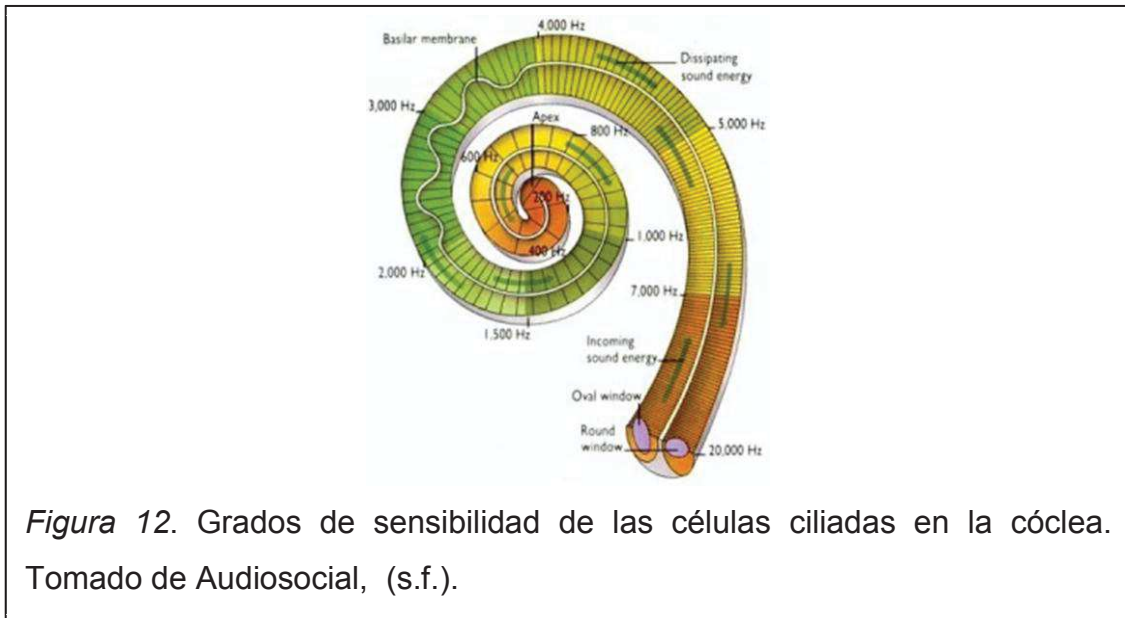


Figura 11. Oído interno.

Tomado de Alda, 2011.

El oído interno se encarga de transformar la energía mecánica proveniente del oído medio en impulsos eléctricos los cuales serán interpretados por el cerebro, estas vibraciones mecánicas ingresan por la ventana oval haciendo vibrar a líquido denominado perilinfa ubicado dentro de la cóclea. Dentro de la cóclea también se encuentran células sensoriales denominadas células ciliadas, las cuales cubren por completo el largo de la cóclea, estas a su vez poseen

distintos grados de sensibilidad para captar así todo el rango de frecuencias audible, las que se encuentran en la base de la cóclea son las encargadas de detectar la presencia de frecuencias altas y las de la parte más profunda se encargan de interpretar frecuencias bajas como lo muestra el siguiente gráfico.



2.3. Pérdida auditiva y sus fases.

Según datos de la OMG (Organización Mundial de la Salud) aproximadamente 328 millones de adultos y 32 millones de niños padecen de pérdida de audición incapacitante. Se entiende por pérdida incapacitante a la disminución de la capacidad auditiva en el mejor de los oídos de 40dB para adultos y de 30dB para niños. (OMS, 2013).

Las causas más comunes de la pérdida auditiva son:

- Genéticas.
- Por traumatismos o golpes.
- Por exposición prolongada a ruidos intensos.
- Por exposición a ruidos de impacto de alto nivel.
- Por enfermedades e infecciones diversas.

2.3.1. Primera fase.

Se evidencia una pérdida de hasta 40 dB alrededor de los 4KHz, dicha pérdida es reversible si se interrumpe la exposición a la fuente generadora (motores, maquinaria, ruidos de impacto, etc.).

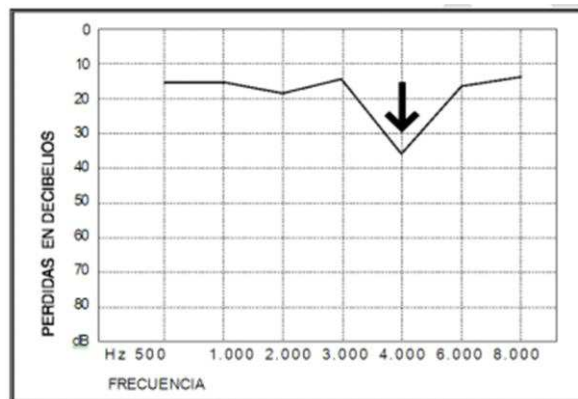


Figura 13. Primera fase de la pérdida auditiva.

Tomado de Ministerio de Salud, Guía técnica Perú, p. 8

2.3.2. Segunda fase.

Pérdida de 20dB a 30dB en 4KHz pero también afectaciones en las frecuencias vecinas de 3KHz y 6KHz.

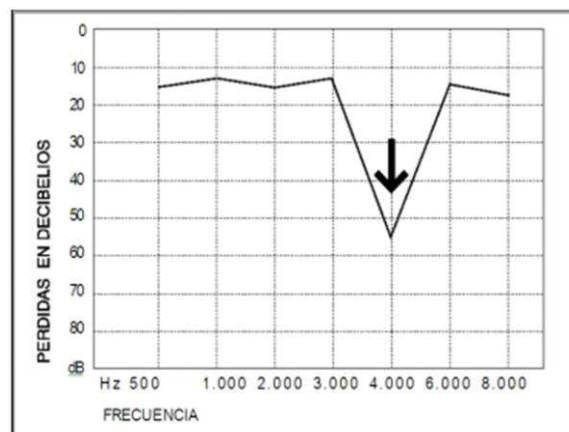


Figura 14. Segunda fase de la pérdida auditiva.

Tomado de Ministerio de Salud, Guía técnica Perú, p. 9.

2.3.3. Tercera fase.

Pérdida de 40 dB en las frecuencias de 4000 a 6000 Hz, se refleja en problemas para escuchar timbres y dificultad para entender discursos.

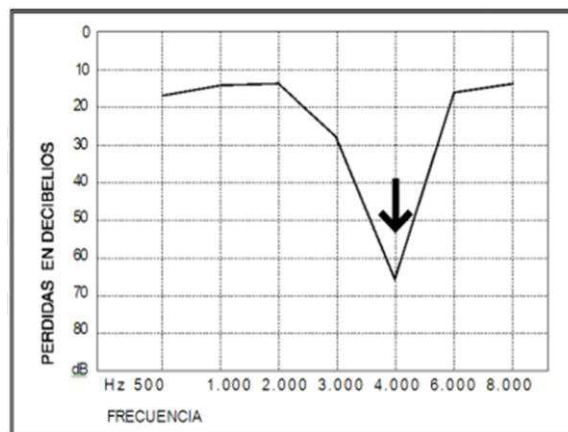


Figura 15. Tercera fase de la pérdida auditiva.

Tomado de Ministerio de Salud, Guía técnica Perú, p. 9.

2.3.4. Cuarta fase.

Esta pérdida afecta directamente en la capacidad de entender conversaciones, ya que el desarrollo de un lenguaje tiene un gran contenido energético en las frecuencias medias-graves y medias, el gráfico de la audiometría es similar a la de una recta decreciente.

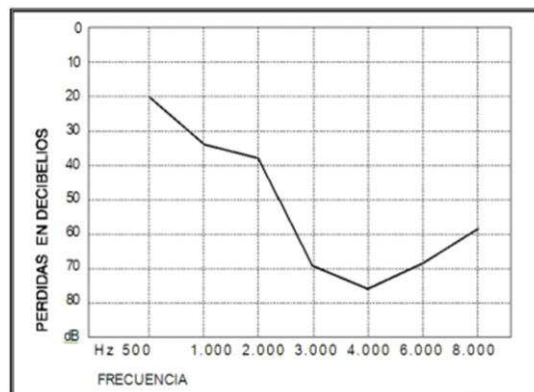


Figura 16. Cuarta fase de la pérdida auditiva.

Tomado de Ministerio de Salud, Guía técnica Perú, p. 10.

2.4. Efectos positivos de los sonidos.

El sonido como objeto de estudio ha sido mayormente considerado un contaminante debido a los efectos nocivos que la contaminación acústica puede ocasionar, el sonido comprende tanto sonidos indeseables (ruido) como deseables (voz de ciertas personas, música predilecta, sonidos de la naturaleza), estos últimos son de gran ayuda ya que pueden incrementar el rendimiento, es por esta razón que muchas personas prefieren escuchar música mientras estudian, gracias a que la música tiene la capacidad de enmascarar los sonidos del ambiente, permitiendo al escucha aislarse del entorno sonoro logrando así una mayor concentración en sus actividades, además ciertas melodías tienen la capacidad de estimular la concentración, la intuición y los procesos creativos relacionados con el razonamiento espaciotemporal que tiene lugar en el hemisferio derecho del cerebro (Campbell, 1998).

2.5. Normativas para la regulación de niveles de exposición al ruido.

A continuación se enumeran algunas de las normativas y sus correspondientes tablas de valores, cabe recalcar que éstas se basan en el “Nivel sonoro continuo equivalente”, utilizando la ponderación “A” lento.

2.5.1. Normativa Ecuatoriana.

El Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) mediante el decreto ejecutivo 2393 “REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO”, expresa la relación entre los niveles y tiempos de exposición como lo indica la siguiente tabla.

Tabla 1. Dosis de Ruido según Decreto Ejecutivo 2393.

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

Tomado de IEES, s.f.

2.5.2. Normativa Chilena.

En el “REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES BÁSICAS EN LOS LUGARES DE TRABAJO” Publicado en el Diario Oficial del 29 de Abril de 2000 en el párrafo III. Expresa los niveles de exposición a ruidos de tipo estable o fluctuante y su tiempo de exposición según la siguiente tabla.

Tabla 2. Tabla de dosis de ruido según reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.

NPSeq dB(A)Lento	TIEMPO DE EXPOSICIÓN POR DÍA		
	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS
80	24		
81	20.16		
82	16		
83	12.7		
84	10.08		
85	8		

86	6.35		
87	5.04		
88	4		
89	3.17		
90	2.52		
91	2		
92	1.59		
93	1.26		
94	1		
95		47.4	
96		37.8	
97		30	
98		23.8	
99		18.9	
100		15	
101		11.9	
102		9.4	
103		7.5	
104		5.9	
105		4.7	
106		3.75	
107		2.97	
108		2.36	
109		1.88	
110		1.49	
111		1.18	
112			56.4
113			44.64
114			35.43
115			29.12

Tomado de Ministerio de salud, 2000.

2.5.3. Normativa Española.

Mediante el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido BOE nº 60, publicado el 11 de marzo de 2006

Tabla 3. Dosis de ruido según el Real decreto 286/2006.

LAeq,T en dB(A)	Tiempo máximo de exposición
87	8 horas
90	4 horas
93	2 horas
96	1 hora
99	1/2 hora
102	1/4 hora
105	7 ½ minutos
112	1 ½ minutos
117	1/2 minuto
120	15 segundos

Tomado de Gobierno de España, 2006.

2.5.4. Normativa Norteamericana.

Es más conocida como la Ley OSHA (Occupational Safety and Health Act of 1970)

Tabla 4. Tiempo de exposición a ruido según Ley OSHA.

Nivel	Tiempo	
	horas	minutos
80	32,0	
81	27,9	
82	24,3	
83	21,1	
84	18,4	
85	16,0	
86	13,9	
87	12,1	
88	10,6	
89	9,2	

90	8,0	
91	7,0	
92	6,1	
93	5,3	
94	4,6	
95	4,0	
96	3,5	
97	3,0	
98	2,6	
99	2,3	
100	2,0	
101	1,7	
102	1,5	
103	1,3	
104	1,1	
105	1,0	
106		52,2
107		45,5
108		39,6
109		34,5
110		30
111		26,1
112		22,7
113		19,8
114		17,2
115		15
116		13,1
117		11,4
118		9,9
119		8,6
120		7,5
121		6,5
122		5,7
123		4,9
124		4,3
125		3,8
126		3,3
127		2,8
128		2,5
129		2,2
130		1,9

Tomado de OSHA, 1970.

2.5.5. Organización Mundial de la Salud.

Tabla 5. Índice de evaluación admisibles en función de los períodos de exposición a un ruido continuo.

N (en dB)	Exposición diaria (en minutos)
85	Más de 120
90	Menos de 120
95	Menos de 50
100	Menos de 25
105	Menos de 16
110	Menos de 12
115	Menos de 8
120	Menos de 5

Tomado de OMS, (2013).

Nota: Este cuadro se reproduce del *Draft Secretarial proposal for noise rating numbers with respect to conservation of hearing, speech communication and annoyance* (ISO/TC 43 (Secretaría 194) 314).

2.5.6. Comparación de la normativa Nacional.

A continuación una comparación de nuestra normativa ecuatoriana con respecto a la elaborada por otros países.

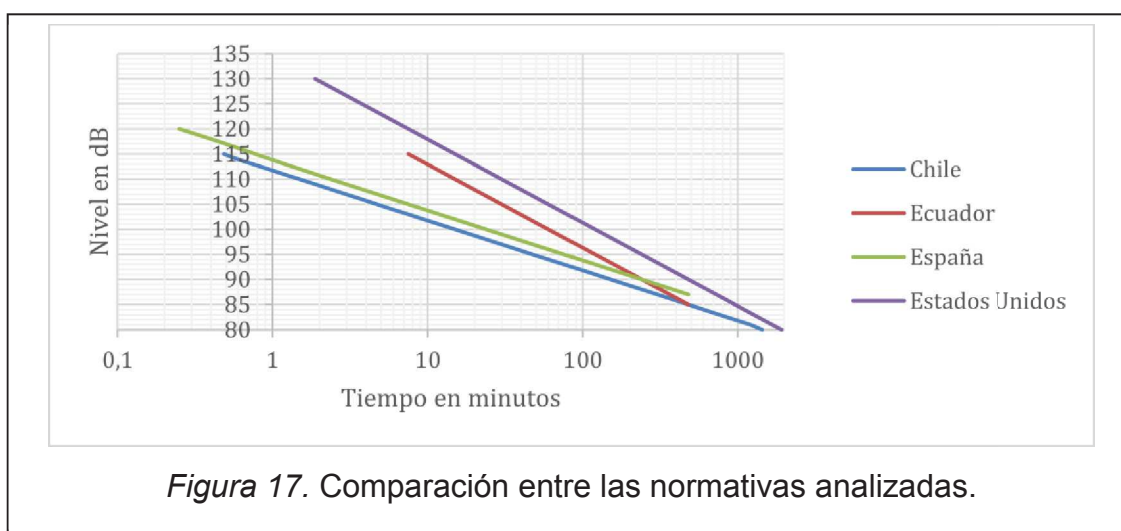


Figura 17. Comparación entre las normativas analizadas.

Todas las normativas analizadas consideran la ponderación “A” para su medición y el tiempo de muestreo del dispositivo de medición configurado en “Lento”.

Si consideramos a las gráficas obtenidas como funciones, podemos decir que la pendiente de la función generada por la normativa ecuatoriana es muy similar a la función obtenida con los datos de la normativa de Estados Unidos, su diferencia radica en que la normativa ecuatoriana restringe a 115dB el máximo nivel de exposición en ambiente laboral, a diferencia de los 130dB que considera la normativa de los Estado Unidos, en la cual se otorga un tiempo de exposición de casi 2 minutos, esto en la práctica ocasionaría la ruptura inminente de la membrana timpánica de un individuo.

Se evidencia además que la normativa chilena se origina de la normativa española pero no llega a considerar un tiempo de exposición a ruido de un nivel de 120 dB como lo hace la normativa española, esto debido a que este nivel puede causar daños permanentes en el aparato auditivo.

La normativa de Chile y de Ecuador consideran un nivel máximo de exposición los 115 dB, con la diferencia que para la normativa chilena el tiempo máximo de exposición a este nivel es de 29 segundos, en comparación a los 7.5 minutos que permite la normativa de Ecuador.

2.6. Tipos de dispositivos auriculares para la reproducción de música sus ventajas y desventajas.

La popularidad de los auriculares ha crecido significativamente, lo que ha ocasionado que empresas fabricantes orienten su interés en la captación de este mercado proporcionando múltiples diseños y tecnologías.

Los auriculares son básicamente transductores electro-mecánico-acústicos, los tipos varían desde los más pequeños que se colocan dentro del pabellón auditivo y los circomaurales que cubren toda la oreja.

Dentro de la terminología popular es muy común asociar el término audífonos al referirse a dispositivos auriculares, cuando el término “audífonos” hace referencia a dispositivos que tienen un micrófono y un altavoz incluido, estos suelen ser utilizados como soluciones para la hipoacusia o sordera en lo cual es necesario; captar, amplificar y emitir sonidos.

A continuación se presenta diversos dispositivos de auriculares y su nombre común en el mercado.

2.6.1. Earbuds.



Figura 18. Earbuds de la empresa Apple.

Tomado de Underwateraudio, (2014).

En español “auriculares”, son los más populares, suelen ser incluidos en el equipo de reproducción personal portátil promocionado en el mercado. No suelen ser muy

Recomendados, ya que presentan deficiencias en su calidad sonora.

Ventajas: Son económicos, livianos y pequeños.

Desventajas: No existe el suficiente aislamiento de ruidos externos por lo cual se tiende a elevar el nivel de volumen. El sonido es de baja calidad ya que presenta deficiencias en reproducir un rango de frecuencia aceptable. Su bajo precio es proporcional a su durabilidad y se enredan con facilidad.

2.6.2. In-Ear.

También conocido como “intraauriculares”, estos dispositivos cuentan con una almohadilla de goma que sirve como aislante de ruidos externos, tienen una calidad aceptable.



Figura 19. Dispositivos In-Ear Mobile Jamz
Tomado de Vr-zone, (2014).

Ventajas: Buena calidad de sonido y asilamiento de ruidos externos, pequeños livianos y relativamente económicos.

Desventajas: Presentan una deficiencia en la reproducción de frecuencias bajas debido a su tamaño. Suelen ser cómodos y se enredan con facilidad.

2.6.3. Clip-Ear.



Figura 20. Auriculares Sony In-Ear Clip mdr as200.
Tomado de Tratme, (2014).

Este dispositivo es una buena opción para deportistas ya que fue diseñado específicamente para este propósito, su diseño se amolda al contorno de la oreja para sujetarse.

Ventajas: Se sujeta a la oreja, tienen una buena relación costo beneficio, son pequeños.

Desventajas: Suelen ser incómodos, presentan una ligera dificultad al colocar y retirarlos, la capacidad de aislar el ruido depende de si la oreja del usuario se encuentra dentro de los estándares considerados en el diseño.

2.6.4. Auriculares Bluetooth.



Figura 21. Auriculares Bluetooth.

Tomado de Aliexpress, (2014).

Se incluyeron a estos dispositivos en esta clasificación debido a que tienen ciertas características en común, en el mercado se los encuentra de muchos modelos y formas.

Los auriculares de este tipo usan la tecnología bluetooth para transmitir señales de audio, para lo cual es necesario contar con un emisor, en el caso que el dispositivo no cuente con este. Estos dispositivos se postulan también como una opción para deportistas gracias a su tecnología inalámbrica.

Ventajas: Inalámbricos, sofisticados, prácticos.

Desventajas: Necesidad de recargar baterías, baja calidad de sonido, costo elevado en relación a la calidad de sonido, el sonido puede interrumpirse por interferencias en la transmisión, necesidad de otro dispositivo que emita la señal bluetooth.

2.6.5. Supra-Aurales.



Figura 22. Auriculares marca “Sennheiser” modelo pmx40
Tomado de Bootic, (2013).

Estos dispositivos suelen ser la clásica opción a la hora de escuchar música. En este diseño se pueden encontrar dispositivos de muchas marcas y modelos, su calidad sonora es directamente proporcional a su precio.

Ventajas: Sonidos graves aceptables, en general buena relación precio calidad, al tener piezas grandes facilitan la sustitución de componentes defectuosos.

Desventajas: Poco aislamiento acústico, su nivel de volumen suele ser menor por estar más alejados del tímpano.

2.6.6. Circomaurales.



Figura 23. Auriculares de la empresa Sennheiser HD 280.
Tomado de Amazon, (2014).

También conocidos como “*over-ear*”, este es el modelo de auriculares al que pertenecen los de mayor calidad de sonido, utilizan un cable grueso en relación a los modelos nombrados anteriormente, suelen ser utilizados para: Eventos de PA, Mezclas de producciones discográficas, *Disk Jokers*, Estudios de grabación.

Ventajas: Tienen una excelente calidad de sonido, aíslan ruidos externos, buena reproducción de graves, muy cómodos.

Desventajas: Son relativamente grandes y costosos.

2.6.7. Earpods.



Figura 24. Earpods

Tomado de Fasttech, (2012).

Estos dispositivos son diseñados y fabricados por la empresa Apple, son pensados específicamente para sus dispositivos portátiles como el *iPad*, *iPod*, *iPhone*, entre otros. La empresa escaneo cientos de oídos para poder desarrollar un modelo compatible con todo tipo de oído, el diseño incluye compuertas conocidas como Bass-réflex para disminuir la presión interna logrando así mayor libertad en el desplazamiento del altavoz, favoreciendo así la generación de bajas frecuencias.

El aspecto más innovador es sin duda alguna los altavoces. Como en la mayoría estos consisten en: Cono, bobina, imán y una caja de resonancia. La diferencia radica en los materiales del cono, ya que utiliza papel y envoltura de

polímero en lugar de plástico, además, gracias al diseño acústico de su caja de resonancia tiene una mejora en la reproducción de bajas frecuencias con respecto a su diseño predecesor.

Datos Técnicos

Impedancia= 32 ohmios

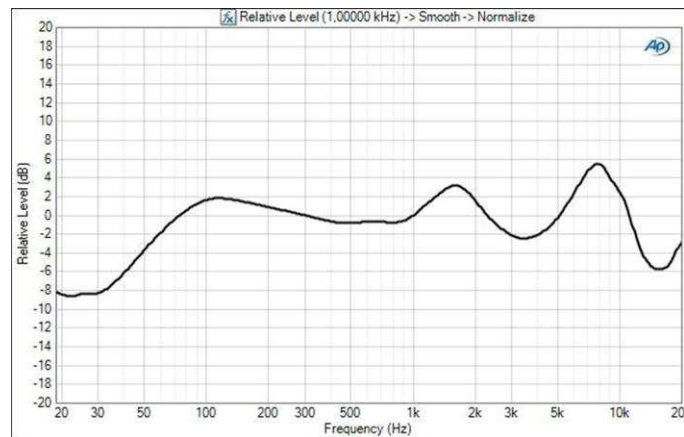


Figura 25. Gráfico de la respuesta de frecuencia de los dispositivos auriculares *Earpods*.

Tomado de Digitalversus, (2014)

Ventajas: Tienen una calidad de sonido buena, son ligeros y cómodos, se adaptan a la estructura física del oído promedio.

Desventajas: Pueden presentar una especie de ruido y distorsión debido a su baja impedancia, los primeros modelos tuvieron ciertas deficiencias en la durabilidad de sus cables. Rango de frecuencias corto.

Gráfico de la distorsión armónica total (THD).



2.7. Fundamentos del Xcode.

Xcode es un Entorno de desarrollo integrado (IDE) de la empresa Apple, el cual puede ser descargado desde la página web de la empresa Apple, compatible únicamente con el sistema operativo Mac OS X. Permite crear aplicaciones para dispositivos móviles iOS como iPad, iPhone o iPod, su lenguaje de programación se basa en *Objective C* y utiliza *Cocoa touch*.

2.7.1. Objective-C.

Fue creado en 1980, se trata de una extensión del lenguaje C con algunas modificaciones, y lo que es más importante, una programación orientada a objetos. Objective C es el lenguaje principal para el desarrollo de aplicaciones Mac OS X e iOS. Las sentencias de este lenguaje son más ilustrativas que la mayoría de lenguajes. Por ejemplo, considerando la necesidad de comprobar si el contenido de la variable "myName" es igual a Jhon se escribiría de la siguiente manera:

```
[myName isEqualToString:@"John"]
```

En Lenguaje C tradicional sería:
 strcmp(myName, "John")

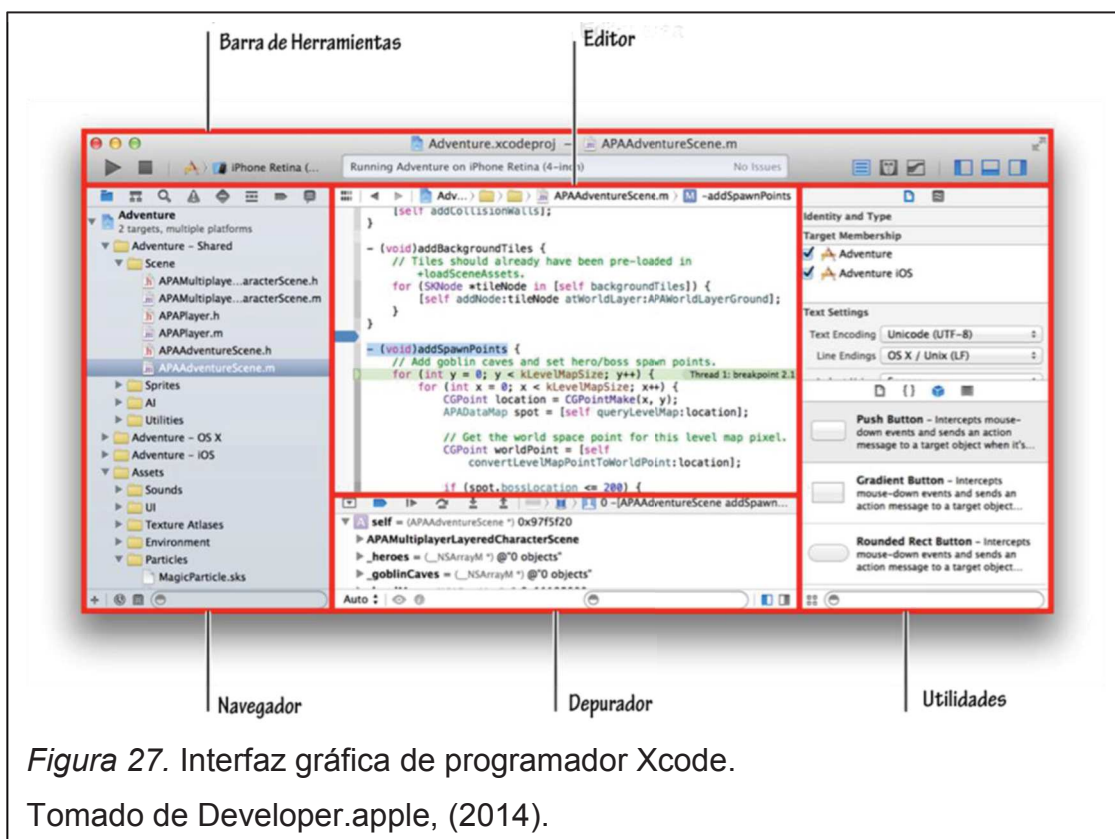
Debido a que Objective C es una derivación de C tradicional, éste sigue siendo completamente compatible con código totalmente escrito en C.

2.7.2. Cocoa Touch.

Es el conjunto básico de herramientas que permiten crear y acceder a los objetos y estructuras de datos básicos, elaboración de interfaces de usuario, conectar a la interfaz con hardware para manejar eventos. (Querol J, 2011).

2.7.3. Interfaz gráfica.

Está compuesta por el Toolbar, Editor Área, Navigator Área, Debug Área y Utility. Se encuentra distribuido como lo indica el siguiente gráfico.



2.7.3.1. Barra de herramientas.

En esta barra se encuentran los botones para correr y parar la simulación, como también el seccionador de dispositivo para la simulación, además es visible la barra de estado y la selección de editores.

2.7.3.2. Editor.

Es el lugar en donde se ingresan todas las líneas de código de la aplicación, también es la sección en donde se visualiza la interfaz gráfica de la aplicación.

2.7.3.3. Navegador.

En esta sección se pueden visualizar los diferentes archivos del proyecto, estos se encuentran organizados en carpetas para un mejor manejo de la información.

2.7.3.4. Depurador.

Controla la ejecución del código mediante los puntos de ruptura o “break-points”, permite también la visualización de la salida en consola y la interacción con el depurador.

2.7.3.5. Menú de utilidades.

En el área de utilidades se visualizan los accesos a la ayuda rápida, accesos directos a los recursos del proyecto como son: librerías, inspector y una barra de filtrado.

2.7.4. Simulador.

Este programa hace uso de un simulador de dispositivos IOS para probar nuestras aplicaciones, el inconveniente es que para poder instalar las aplicaciones en nuestro dispositivo móvil, es necesario comprar la firma de desarrollador a un costo de \$99 dólares americanos por año, cabe recalcar que para el diseño de aplicaciones que utilizan información de la memoria del dispositivo es necesario adquirir la firma de desarrollador antes mencionada.

La interfaz gráfica del simulador para un dispositivo iPhone es la siguiente:



Este simulador permite principalmente, cambiar el tamaño del dispositivo mostrado en pantalla, girar al dispositivo en las distintas orientaciones configuradas, simular gestos multi-táctiles, además se puede seleccionar los distintos dispositivos IOS, incluso versiones y sistemas operativos antiguos.

CAPÍTULO III Desarrollo

3.1. Aspectos Generales.

3.1.1. Normativa de dosis de ruido seleccionada.

Basados en el estudio bibliográfico y documental se seleccionó a la Normativa de dosis de ruido chilena para establecer los parámetros de la aplicación “Healthy Music” debido a los siguientes aspectos:

- Establece un tiempo de 8 horas de exposición a 85dB(A), uno de los menores entre las normativas analizadas, esto con el fin de compensar los daños que pueden causar la energía sonora radiada directamente en el canal auditivo.
- La tabla de dosis de ruido que relaciona los niveles y los tiempos de exposición es mucho más detallada (ver tabla 3), considera un rango mucho más amplio de valores, gracias a esto se obtuvo una función algebraica mucho más precisa para la aplicación.
- Se puede tener acceso a todos los datos técnicos considerados para la elaboración de esta normativa, no para los casos de otras en las que sus especificaciones técnicas se encuentran detalladas en normativas ISO, difíciles de conseguir.

3.1.2. Niveles de sonoridad de la aplicación.

La unidad dimensional más utilizada para expresar niveles sonoros es el decibel, la normativa seleccionada indica que 85dB(A) es el nivel sonoro al cual un trabajador puede estar sometido un máximo de 8 horas, los seres humanos asimilan con facilidad unidades dimensionales como la longitud, el tiempo, la masa, pero resulta difícil conceptualizar 80dB o 100dB, debido a esto, para el presente proyecto, el cual procura indicar a los usuarios los niveles sonoros a los que están exponiendo su audición, se pretende indicar estos niveles por medio de imágenes con eventos sonoros comunes. A continuación se presenta una tabla en decibeles en la que se compara algunos sonidos comunes, clasificándolos desde el punto de vista del daño potencial que puede causar en la audición.

Tabla 6. Sonidos característicos, sus niveles y efecto en el ser humano.

Sonidos Característicos.	Nivel Sonoro dB(A)	Efecto
Turbina de avión.	140	Daño inmediato del oído
Disparo de un arma de fuego.	130	Riesgo de lesión si la exposición se extiende en 2 segundos
Concierto de Rock	120	Riesgo de lesión si la exposición se extiende a 15 segundos
Ruido en discotecas	115	Riesgo de lesión si la exposición se extiende a 46 segundos
Ruido de helicópteros	110	Riesgo de lesión si la exposición se extiende a 2.5 minutos
Sirena de policía	100	Riesgo de lesión si la exposición se extiende a 25 minutos
Martillo neumático	95	Riesgo de lesión si la exposición se extiende a 1.26 horas
Ruido de Motocicleta a 1m	90	Riesgo de lesión si la exposición se extiende a 4 horas
Grito fuerte a 1m	85	Riesgo de lesión si la exposición se extiende a 12.5 horas
Ruido licuadora	80	Riesgo de experimentar dolencias físicas.
Ruido de aspiradora	75	Riesgo de sufrir alteraciones del sueño
Tráfico en la ciudad.	65	Nivel máximo recomendado por la OMS
Conversación Normal.	55	Nivel moderado
Ruido microondas	45	Nivel normal
Habitación tranquila.	40	Nivel normal

Nota: La presente tabla es producto de una extensa indagación bibliográfica y producto de la experiencia de algunos profesionales entendidos en la materia.

3.1.3 Contador regresivo de tiempo.

Debido a que la normativa específica tiempos de exposición a ruido por día, se estableció que la aplicación reinicie su contador regresivo en el caso de que se haya superado el tiempo de escucha estimado por la aplicación luego de un

período de tiempo de 12 horas. El usuario podrá desactivar esta interrupción insistiendo en su ejecución, para lo cual la aplicación informará de los riesgos al usuario mediante un mensaje de alerta.

3.1.4 Compensación de Niveles mínimos.

La aplicación calcula el tiempo restante de escucha basada en los datos del nivel sonoro continuo equivalente, sumando en cada segundo los niveles obtenidos por la aplicación, para cumplir con la configuración “Lenta” como lo exige la normativa de control de ruido en ambiente laboral, además, debido a que el programa puede llegar a obtener 0dB se propone limitar a un mínimo de 40dB los niveles obtenidos, con el fin de no alterar el nivel sonoro continuo equivalente. Se eligió los 40 dB debido a que este nivel está dentro del intervalo de ruido de fondo más común, además, se sabe que una conversación normal, fluctúa alrededor de este nivel.

3.2. Construcción de la cabeza de prueba.

La finalidad de construir una cabeza de prueba es principalmente calibrar la aplicación, lograr que los niveles mostrados en la pantalla del dispositivo correspondan al nivel captado dentro del pabellón auditivo.

Además con la construcción de la cabeza artificial se podrá realizar algunas mediciones como la incidencia del pabellón auditivo, la capacidad de aislamiento acústico que proporcionan los *Earpods* y compararlos con otros dispositivos auriculares.

3.2.1. Materiales.

La idea en general es construir una cabeza lo más parecida posible a una cabeza promedio, imitando en lo posible sus dimensiones, densidad y consistencia. Se escogió una cabeza de maniquí rellena por dentro con una especie de poliuretano denso como lo muestra la siguiente imagen.



Figura 29. Cabeza de maniquí con relleno de poliuretano de alta densidad.

Para la elaboración de la oreja, se consideró la consistencia de la misma y la flexibilidad del material con la que debería estar construida, además la necesidad de considerar un diseño representativo, lo cual concluyó en la importación de un prototipo utilizado por profesionales de la salud para la elaboración de audífonos.

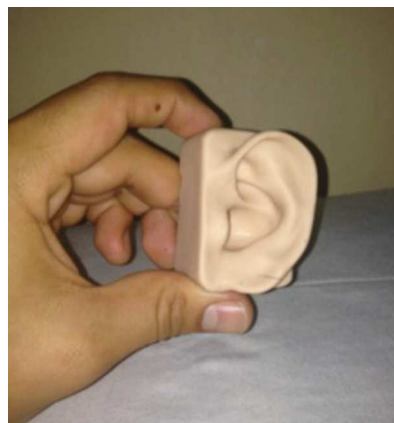


Figura 30. Pabellón auditivo artificial de tamaño estándar y material flexible.

Este prototipo fue incorporado en la cabeza artificial tomando en cuenta los patrones de una cabeza promedio, antes fue necesario realizar un orificio para que pueda ingresar con presión el micrófono de medición, esto con el fin de evitar la fuga de energía sonora, imitando así a las condiciones de un tímpano real como lo indican los siguientes gráficos.



El micrófono de medición utilizado en el experimento es dbx RTA-M el cual es un micrófono de condensador omnidireccional de respuesta plana, este responde desde los 20Hz hasta los 20kHz. A continuación se presentan unos gráficos ilustrativos del micrófono y sus características.



A continuación el gráfico de la respuesta de frecuencia del micrófono utilizado en el experimento.

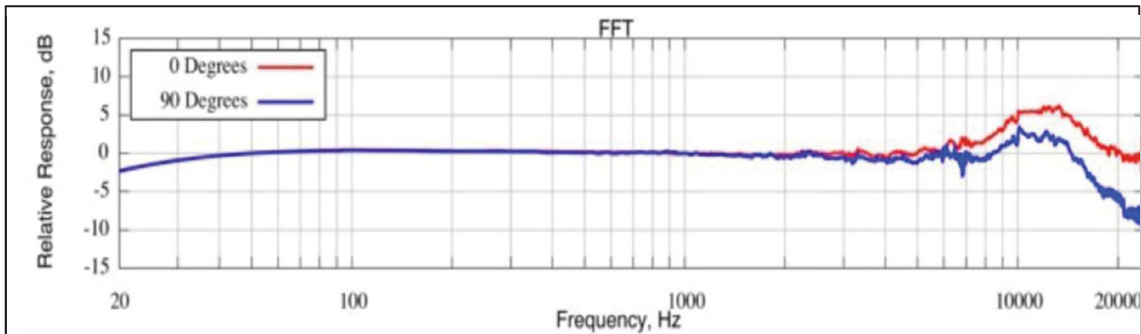


Figura 33. Respuesta de frecuencia del micrófono de medición dbx RTA-M. Tomado de Htguide, (2009).

La interfaz de audio utilizada fue la Mbox 2 mini de *Digidesing*, esta interfaz se conecta al ordenador a través de un puerto USB 1.1, proporciona una calidad de audio profesional de 24 bits de profundidad y una frecuencia de muestreo de 48.000Hz.



Figura 34. Interfaz de audio Mbox 2 mini. Tomado de Musiciansfriend, (2014).

3.2.2. Mediciones.

Como software para las mediciones se utilizó el *Smaart V.7*, este software fue diseñado por la empresa *Rational Acoustics*, la configuración para medir con el analizador en tiempo real “RTA” en sus siglas en ingles por *Real Time Analyzer*, fue en dB(A) Lento, como lo especifican las normativas de dosis de ruido, la interfaz visual luce como en el siguiente gráfico.



Figura 35. Interfaz gráfica del software Smart V.7.

Tomado de Audioplanet, (2011).

3.2.2.1. Espectro de frecuencia.



Figura 36. Monitores de estudio dynaudio BM5A.

Tomado de En.audiofanzine, (2014)

Para medir este parámetro se utilizó ruido rosa emitido desde unos monitores de estudio, específicamente los dynaudio BM5A.

Con la ayuda de un ecualizador gráfico se procedió a la ecualización de la sala para lograr una respuesta lo más plana posible a 80dB(A), el micrófono fue ubicado a 1m de los altavoces y a un metro del suelo como lo indica el siguiente gráfico.



Figura 37. Ubicación del micrófono de medición para ecualizar la sala.

El espectro de frecuencia obtenido tras ajustar las bandas de tercio de octava del ecualizador gráfico fue el siguiente.

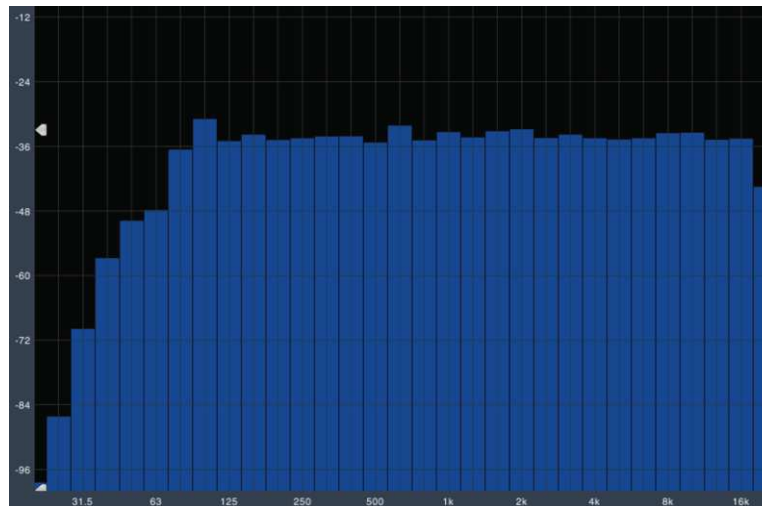


Figura 38. Espectro de frecuencia de la sala ecualizada.

Una vez aplanada la respuesta de frecuencia de la sala ante la presencia de ruido rosa se colocó el micrófono de medición dentro de la cabeza para poder realizar una comparación, los resultados obtenidos fueron los siguientes.



Figura 39. Espectro de frecuencia medido con micrófono de medición ubicado dentro de la oreja del maniquí.

Se puede apreciar con claridad un incremento en nivel a partir de la banda de los 3.150Hz hasta los 10.000Hz, se pudo también notar un incremento en el nivel sonoro equivalente de 8 dB(A) aproximadamente.

3.2.2.2. Aislamiento sonoro.

Para evaluar la capacidad de aislamiento sonoro de los auriculares *Earpods* se consideró a uno de los auriculares más poderosos en su capacidad de aislamiento como son los circumaurales, para el experimento se utilizó a los Sennheiser HD280 (Ver figura 21). El gráfico del espectro de frecuencia obtenido al colocar estos auriculares a la cabeza de prueba fue el siguiente.



Figura 40. Espectro de frecuencia obtenido al medir aislamiento dentro de la cabeza de un maniquí utilizando los auriculares Sennheiser HD 280.

Se puede identificar el decremento a partir de 500Hz en adelante cubriendo en su totalidad los rangos más comúnmente afectados en la audición (Ver figura 15).

El gráfico anterior muestra con claridad que las frecuencias relativamente graves no fueron afectadas significativamente.

A continuación se procedió a medir el aislamiento sonoro aportado por los *EarPods* obteniendo el siguiente gráfico en el experimento.

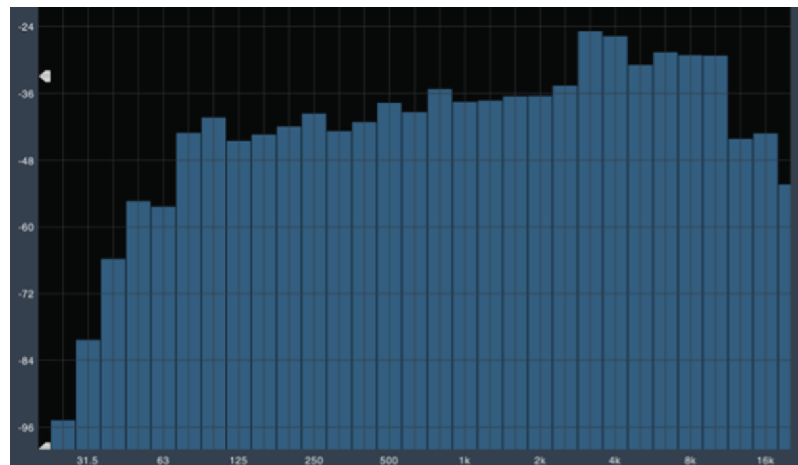


Figura 41. Espectro de frecuencia obtenido al medir aislamiento dentro de la cabeza de un maniquí utilizando los auriculares *EarPods* de la empresa Apple.

Como se observa en la gráfica, el aislamiento que aportan estos dispositivos es mínimo, debido a que los audífonos no se adaptaron correctamente a la forma de la oreja de prueba. Este hecho es común debido a la diversidad de tipos de orejas. Como aspecto positivo se puede recalcar la capacidad de los dispositivos para mantenernos informados del entorno ambiental.

El motivo más importante para la construcción de la cabeza de prueba fue el calibrar la aplicación, para lo cual con la ayuda de un sonómetro se procedió a igualar el nivel captado por nuestro micrófono de medición y así hacer corresponder los niveles mostrados por la aplicación con los niveles sonoros reales.

3.3. Líneas de programación importantes de la aplicación “Healthy Music”.

3.3.1. Nivel en dB del archivo de audio.

Primero se debe almacenar los datos de la canción en la variable “sound”, se digita las siguientes líneas de código.

```
soundFile = [NSURL fileURLWithPath:[NSBundle mainBundle]
pathForResource:@"nombre de la canción" ofType:@"formato"]];
```

```
sound = [[AVAudioPlayer alloc] initWithContentsOfURL:soundFile error:nil];
```

Luego se invoca el comando que permite obtener el nivel en dB del archivo de audio.

```
nivel = [sound averagePowerForChannel:0];
```

3.3.2. Ecuación para transformar dB instantáneos en nivel sonoro equivalente.

El código de programación se basa en la fórmula para cálculo de nivel de presión sonora equivalente (ver ecuación 5).

```
double intensidad =pow(10, nivel/10);
suma = suma + intensidad;
double media = suma/contar;
double leq = 10*log10(media);
```

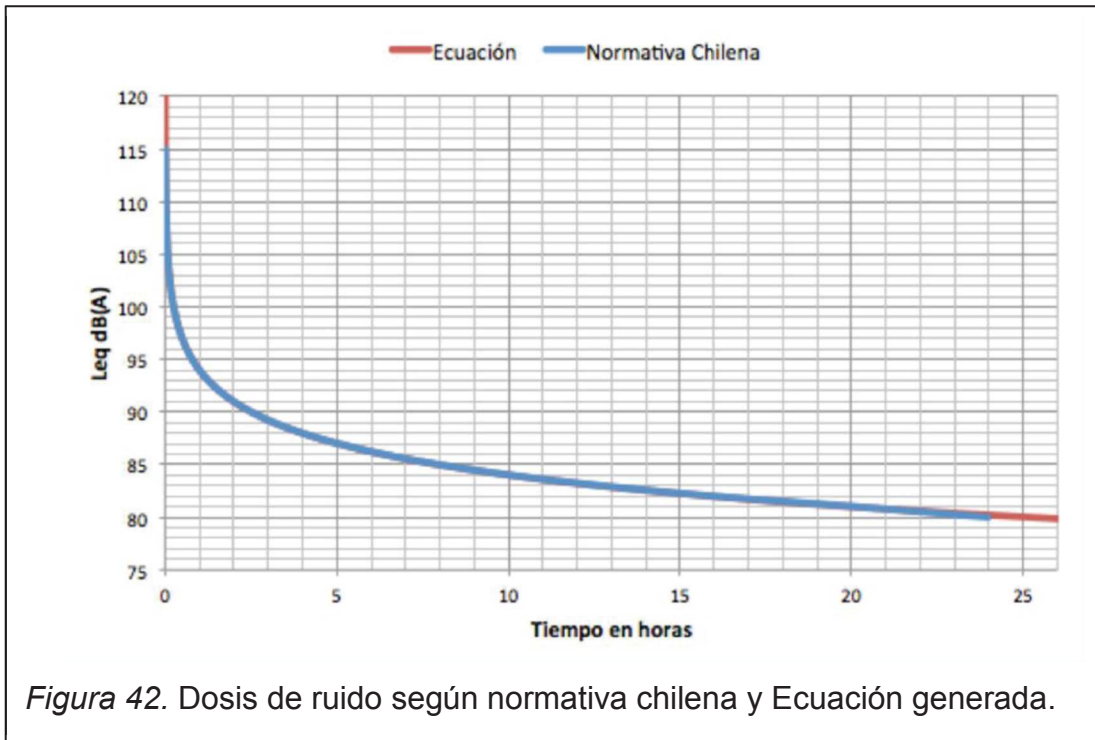
Se utiliza un reloj para que tome muestras cada segundo para cumplir con la condición de medición “Slow” que especifica la normativa.

3.3.3. Ecuación para obtener el tiempo restante en función del nivel sonoro equivalente.

Una vez seleccionada la normativa de dosis de ruido (para el presente caso la normativa chilena), con la utilización de métodos numéricos, se obtuvo la siguiente ecuación.

$$t = 9363000000000e^{-0.23065L} \quad (\text{Ecuación 6})$$

El gráfico de los valores de la normativa con los de la ecuación obtenida es el siguiente.



CAPITULO IV Tablas y gráficos.

4.1. Datos estadísticos de la encuesta.

Con el fin de dar cumplimientos a los objetivos del presente proyecto de titulación, se realizó una encuesta dirigida a 89 usuarios de reproductores de música portátil, se utilizó el programa Excel de Microsoft para representar en gráficas los resultados obtenidos de las encuestas.

Se presentan los resultados en el mismo orden en que se plantearon las preguntas y se detalla una pequeña reseña de la interpretación de los resultados.

4.1.1. Análisis de resultados por preguntas.

¿Qué tipo de dispositivos usa para escuchar música?

Mediante esta pregunta se puede evidenciar el poco uso de los participantes de los dispositivos *Earpods* de la empresa Apple para los cuales se orienta el diseño de la aplicación "*Healthy Music*".

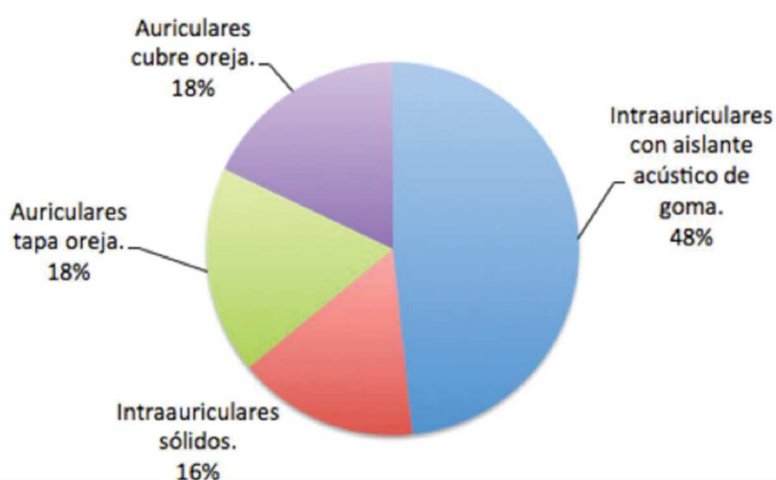
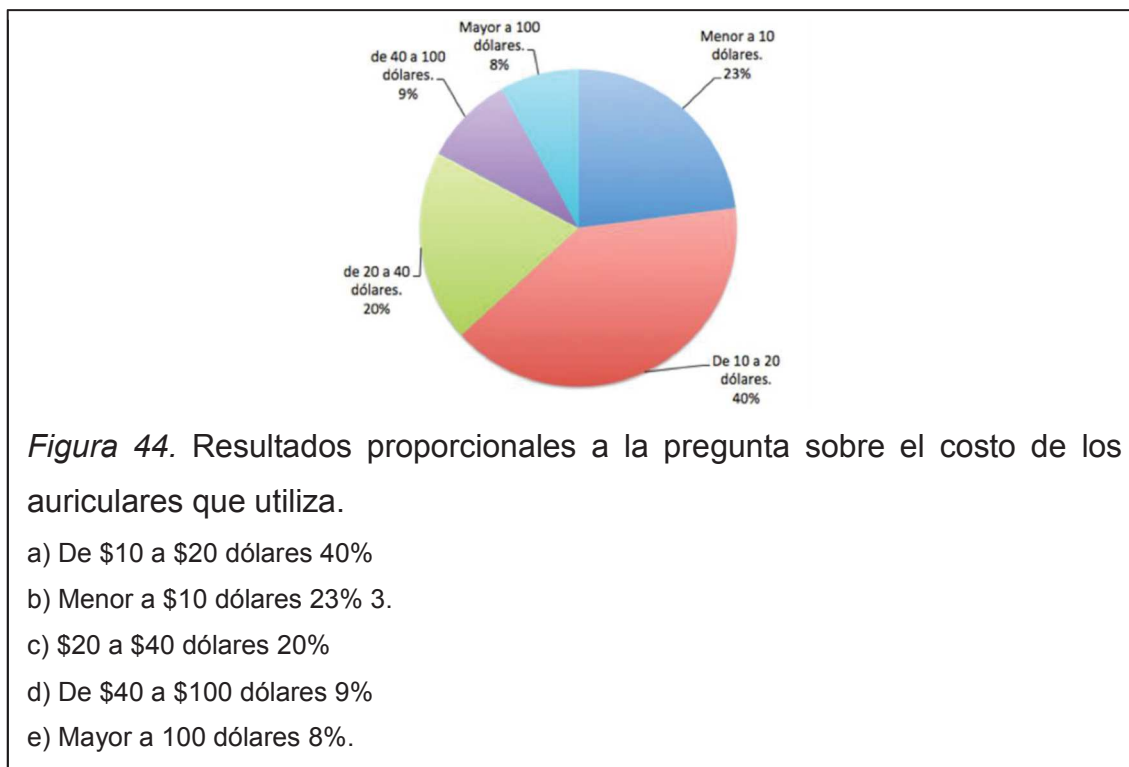


Figura 43. Gráfica de los resultados proporcionales a la pregunta sobre las preferencias de los usuarios en la elección de los dispositivos auriculares que utiliza.

- a) Intraauriculares con aislante acústico de goma 48%
- b) Auriculares cubre oreja 18%
- c) Auriculares tapa oreja 18%
- d) Auriculares sólidos 16%.
- e) Tamaño de la muestra 89 personas.

Se evidencia el predominante uso de dispositivos con aislante acústico de goma, debido a todas sus ventajas descritas anteriormente como son: económicos, calidad de audio aceptable y a que aporta aislamiento acústico.

¿Cuál es el costo aproximado de los auriculares que usa?



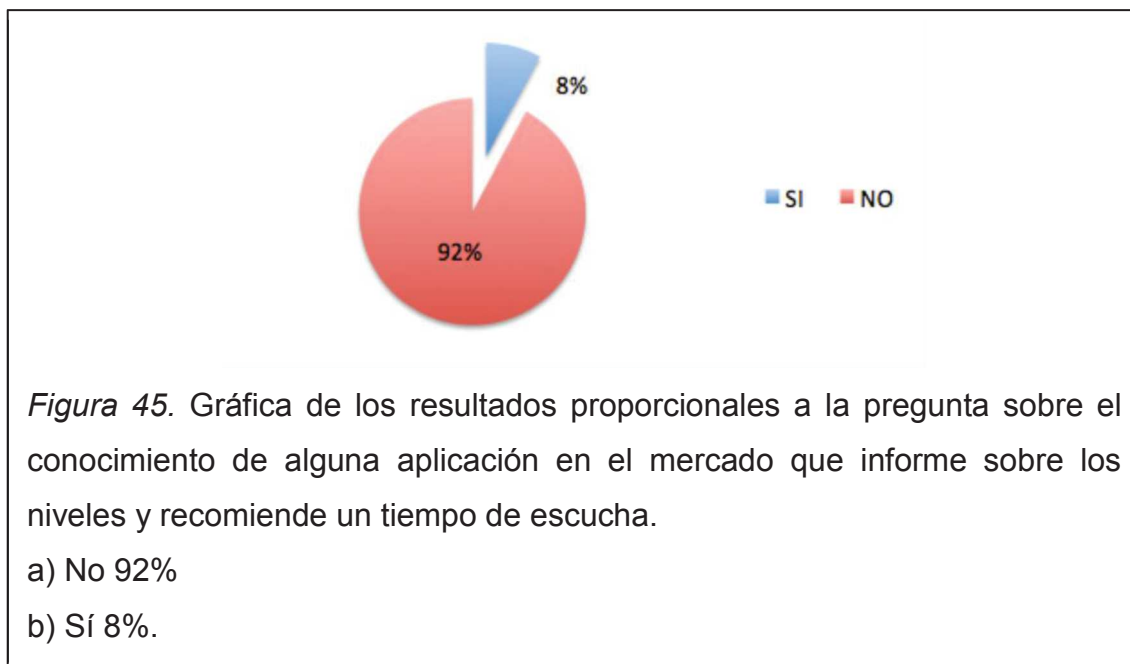
Los dispositivos *Earpods* actualmente se pueden encontrar en tiendas virtuales del mercado local a precios que van desde los 35 dólares, los mismos alcanzan un costo de \$49 dólares en locales autorizados por la empresa Apple.

Los usuarios encuestados evidenciaron sus preferencia por la adquisición de dispositivos auriculares de bajo costo, tan solo un 20% se ubica en el rango de valores de los *Earpods* de la empresa Apple.

Se evidencia también en el segundo lugar, que el 23% de los participantes estaría dispuesto a adquirir dispositivos de un costo menor a \$10 dólares, encontrándose dentro de este rango dispositivos auriculares de mala calidad sonora.

¿Conoce usted alguna aplicación que le informe de los niveles y tiempo a los cuales somete su audición?

Siendo los niveles y el tiempo de escucha los dos factores más importantes a considerar, se evaluó entre los usuarios, la existencia o conocimiento de alguna otra aplicación que informe de estos niveles y tiempos.



Este puede ser considerado un claro indicador de la necesidad de desarrollar y popularizar una aplicación que ofrezca esta capacidad de control.

¿Compraría usted una aplicación que le informe los niveles y le recomiende un tiempo de escucha para cuidar su audición?

Esta pregunta procura evaluar el interés de los usuarios para tomar conciencia de la necesidad de precautelar el sentido auditivo mediante el uso de una aplicación.

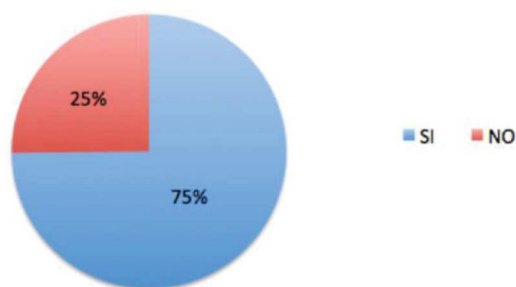


Figura 46. Resultados proporcionales a la pregunta sobre si compraría o no una aplicación que le permita conocer los niveles y los tiempos de exposición para cuidar la audición.

a) Sí 75%.

b) No 25%.

Se evidencia claramente la disposición de los encuestados, a invertir en la adquisición de la aplicación “*Healthy Music*”, la cual proporciona los datos de nivel y tiempo estimado de escucha.

¿Se ha realizado alguna audiometría?

Con esta pregunta procura establecer el porcentaje de encuestados que toma medidas preventivas y de cuidado auditivo.

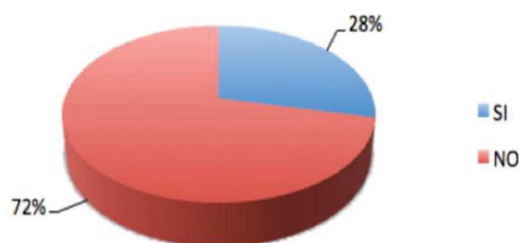


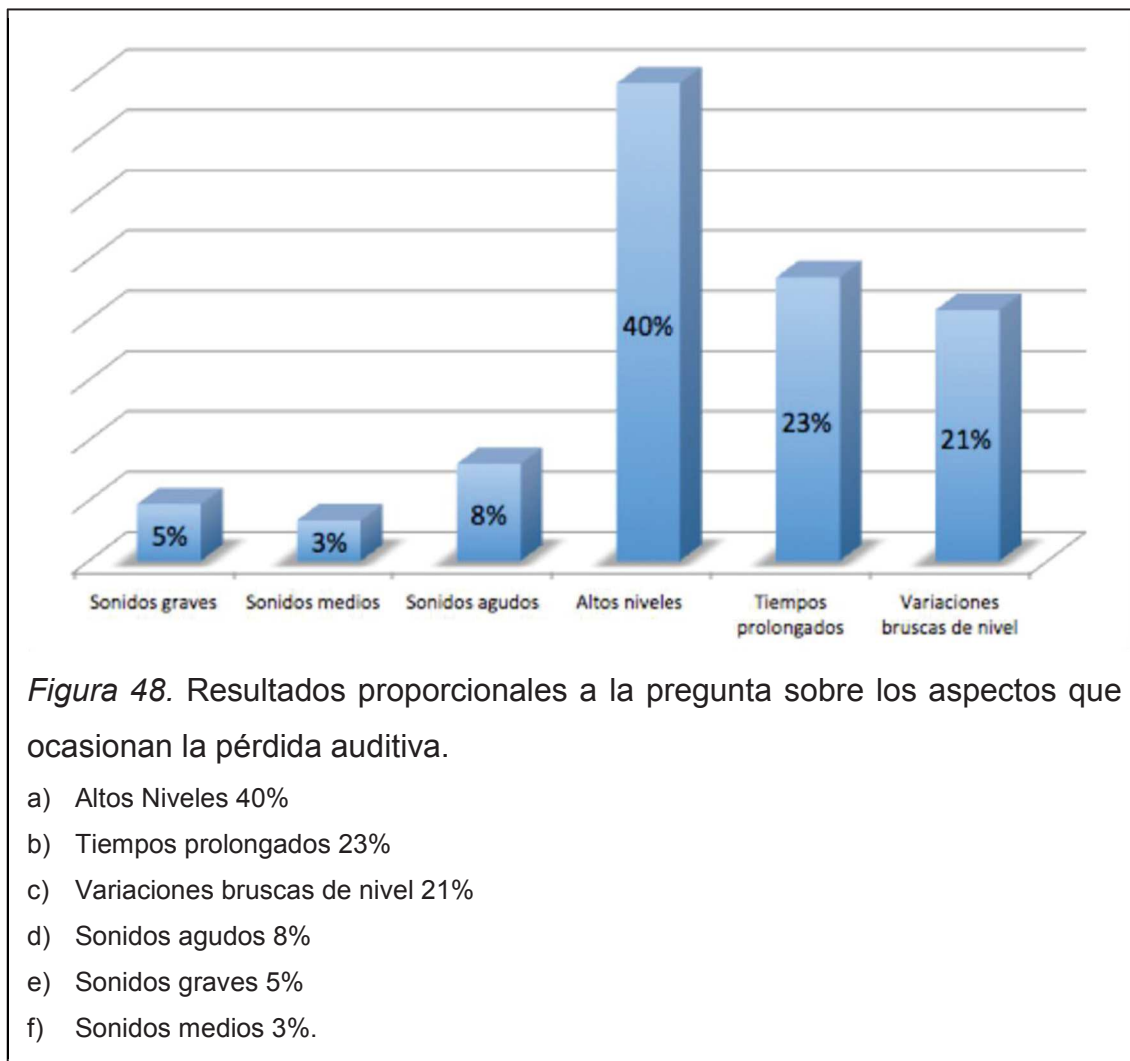
Figura 47. Resultados proporcionales a la pregunta sobre si el encuestado se realizó o no una audiometría.

a) No 72%

b) Sí 28%.

Se evidencia que el 72% de los encuestados no está consciente de la necesidad de control del sentido de la audición.

¿Con qué aspectos cree usted se relaciona la pérdida auditiva?



Los niveles de exposición se relacionan con el tiempo para ser considerados factores que afectan a la audición, en este caso, los encuestados demostraron en su mayoría su conocimiento sobre estos dos aspectos, cabe recalcar que en la encuesta realizada, se pidió seleccionar dos opciones de las propuestas.

Se puede comparar al sonido musical como ruido fluctuante ya que este es aquel que presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora superiores a 5 dB(A) lento, durante un período de tiempo de un minuto.

¿Cuáles son sus preferencias a la hora de escuchar música?



Los dispositivos *Earpods* de la empresa *Apple* promocionan un diseño adaptable a la forma del oído estándar, no aportan con una cantidad de aislamiento sonoro significativo, esto no solo puede ser visto como una desventaja, ya que si son utilizados al transitar las calles, esta capacidad de escuchar el entorno sonoro puede incluso ser de vital importancia.

CAPITULO V Proyecciones.

Como primera proyección se propone la ampliación de dispositivos auriculares compatibles con la aplicación, es decir, incluir en la aplicación una sección que permita al usuario seleccionar el dispositivo auricular específico y que permita ajustar los parámetros de compatibilidad.

Se propone además incluir en la programación un ecualizador gráfico con el fin de compensar las deficiencias auditivas de un individuo mediante los datos de su audiometría, permitiendo de esta manera al usuario escuchar en detalle la propuesta de los productores musicales y todo el tratamiento que un tema musical suele tener.

Se propone también ampliar la propuesta a dispositivos Android, aunque este conlleve un estudio personalizado de cada dispositivo incluso marca y modelo específico, y su compatibilidad con las distintas marcas y modelos de dispositivos auriculares, esta fue una de las razones por la cual se tomó la decisión de programar la aplicación para el iPhone 4s de la empresa Apple y sus respectivos auriculares *Earpods*.

La aplicación desarrollada informa de los niveles identificando el problema en sí, la solución con la que aporta es informar a los usuarios el tiempo restante de escucha que tienen para no dañar su audición, una proyección importante consiste en agregar un circuito de compresión o limitación del audio para otorgar al usuario un mayor control de los niveles de energía sonora a los cuales desee escuchar.

Un público muy importante, usuario también de reproductores de música portátil es sin duda el público infantil, por lo investigado se sabe que su organismo de escucha es más propenso a dañarse y que su reacción ante los sonidos depende mucho de las dimensiones de los órganos implicados en la transducción del sonido. Se considera importante para una posterior etapa,

adaptar las prestaciones de esta aplicación a las necesidades del público infantil.

Se propone el desarrollo de una ponderación dinámica que se adapte en todo su dominio a las gráficas obtenidas por Fletcher y Munson, se hace referencia al término “dinámico” ya que esta ponderación dependerá también del nivel que se esté evaluando, así como se muestran en las gráficas anteriormente mencionadas.

CAPITULO VI Conclusiones y Recomendaciones.

6.1. Conclusiones.

Se cumplió con el objetivo de realizar encuestas para evaluar los criterios de los usuarios a la hora de escuchar música con dispositivos auriculares, en total se lograron 89 encuestas, las cuales consistieron de 8 preguntas.

Se dio cumplimiento al objetivo de simular mediante un dispositivo las condiciones del oído interno para medir con el sonómetro los niveles generados por los *Earpods*, se incluyeron orejas artificiales usadas por profesionales de la salud en el diseño personalizado de audífonos.

Se pudo definir la relación más óptima entre los niveles y tiempos de escucha en los intraauriculares *Earpods* basados en el análisis de normativas de dosis de ruido, seleccionando la normativa de dosis de ruido chilena como base para los parámetros de la aplicación.

Se logró conocer las herramientas necesarias para la programación de aplicaciones de dispositivos IOS de la empresa *Apple*, concluyendo que para el dominio significativo de estas herramientas es necesaria la tutoría de profesionales de la programación en este lenguaje, por la extensa cantidad de información que gira en torno a este lenguaje.

Se alcanzó el objetivo principal de crear una aplicación para el iPhone 4s que permita determinar el nivel de escucha en audífonos *Earpods* y el tiempo de exposición basados en normativas de Dosis de ruido, esta aplicación goza de los aspectos técnicos basados en el presente trabajo, pero si se desea crear una versión comercial es necesario incluir líneas de programación más elaboradas.

La ponderación "A" surge con el propósito de asemejar la captación de equipos de medición sonora al mecanismo de audición humana, compensando en nivel las diferencias que existe en distintas bandas de frecuencia, esta curva de

ponderación logra su mayor correspondencia cuando se miden niveles de presión sonora comprendidos entre los 24dB y 55dB.

La frecuencia de máxima sensibilidad humana depende de la longitud del conducto auditivo de cada individuo, siendo esta frecuencia superior en niños debido a su menor longitud, esto por su relación inversamente proporcional.

Los dispositivos auriculares *Earpods* de la empresa Apple, al aportar con poco aislamiento del entorno, tienen un mejor provecho cuando se los usa en actividades en las que estar informados de los eventos sonoros del ambiente es de gran utilidad.

Se evidencia la necesidad de generar conciencia de lo perjudicial que puede ser, el uso inconsciente de los reproductores portátiles de música, ya que se debe considerar la relación entre los tiempos máximos de exposición y los niveles.

La elección de los mejores auriculares depende de la situación para la cual se los desee emplear, de manera general para cuando se quiera estar consciente del entorno sonoro se recomienda auriculares con poco aislamiento acústico.

6.2. Recomendaciones.

Al calibrar la aplicación con los niveles reales se recomienda tener muy en cuenta el uso de la ponderación A, debido a que esta considera la corrección por la influencia de los órganos encargados de la transducción sonora, y al ubicar el micrófono de medición en el interior de la oreja, este capta la ecualización causada por el pabellón auditivo.

Para las mediciones se hizo uso de un recinto semianecoico. Es preferible hacerlo en un recinto anecoico, de lo contrario procurar horarios en los que el entorno del recinto no influya en la medición.

Es preferible ubicar al micrófono de medición alejado de las superficies que pudieran reflejar energía sonora a una distancia estimada por normativas de 1.5 metros.

Para la aplicación de encuestas es de mucha utilidad hacer uso de páginas diseñadas específicamente para crear una interfaz gráfica de encuestas. Existen páginas que permiten hacer una prueba gratuita por un tiempo determinado, estas páginas proveen un link de acceso a la encuesta, el cual puede ser compartido en redes sociales para así abarcar un público más selecto y diverso, lo llamativo de este método es también la manera en que se obtienen los resultados, ya que permiten exportar gráficos y tablas de resultados, incluso archivos compatibles con Excel.

Para la programación existen extensos documentos proporcionados en la página oficial de Apple, pero resulta de mucha utilidad recurrir a tutoriales en video desde la página de *youtube* en el que se puede encontrar ejemplos prácticos de aplicaciones muy útiles.

REFERENCIAS.

- Alda, F. (2011). *Departamento de Biología y Geología*. Recuperado el 13 de Agosto de 2014 de <http://portillobg3.blogspot.com/2011/03/organos-de-los-sentidos-iii-el-oido-y.html>
- Aliexpress, (2014). Auriculares Bluetooth. Recuperado el 15 de Agosto de 2014 de <http://www.aliexpress.com/item/USB-Sport-Bluetooth-Stereo-Music-Earbud-Headset-Earphone-for-Smartphone-Tablets-Computers-Wireless-Music-Streaming-and/1264998149.html>
- Amazon. (2014). Auriculares Sennheiser HD 280. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://www.amazon.com/Sennheiser-HD-280-Pro-Headphones/dp/B000065BPB>
- Arenas, J. (1988). *Métodos Acústicos para el Análisis de Hipofuncionalidad de la Trompa de Eustaquio*, Tesis de Ingeniería Acústica, Escuela de Acústica, Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Asisten, J. (2008). *El Sonido*. Argentina. Recuperado el 11 de agosto de 2014 de <http://coleccion.educ.ar/coleccion/CD13/contenidos/materiales/archivos/sonido.pdf>
- Audioplanet, (2011). Interfaz gráfica del software Smaart V.7. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://www.audioplanet.biz/t16251p160-teneisque-probar-y-oir-un-equipo-tratado-con-drcop>
- Audiosocial, (2013). Grados de sensibilidad de las células ciliadas en la cóclea. Recuperado el 11 de septiembre de 2014 de <http://audiosocial.es/?p=2878>
- Blauert, J. (2001). *Spatial Hearing, The Psychophysics of Human Sound Localization*, (3.^a ed.), Cambridge.
- Bootic, (2013). Auriculares marca *Sennheiser* pmx40. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://www.bootic.com/sennheiser/electronic/audio/audio-components/headphones/sennheiser-pmx-40>
- Cottet, (s.f.). Gráfico del oído externo, medio e interno. Recuperado el 12 de agosto de 2014 de http://www.cottet.es/object_uploads/acordeon/up_image/EI%20oido.jpg

- Dancer, A. (2013). *Viaje al mundo de la audición*. Recuperado el 13 de Agosto de 2014 de http://www.cochlea.eu/var/plain_site/storage/images/media/images/specialiste/oreille/gain_acoustique/3268-3esIES/ganancia-acustica.gif
- De la Torre, Ana. (2013). Gráfico del oído externo. Recuperado el 13 de agosto de 2014 de <http://1.bp.blogspot.com/0DmtOpwl21U/UeXVvvhQchl/AAAAAAAAAGg/2XZE1HeV8X8/s1600/dibujo+oido+3.png>
- Developer.apple. (2014). Interfaz gráfica de programador Xcode. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de https://developer.apple.com/library/prerelease/mac/documentation/ToolsLanguages/Conceptual/Xcode_Overview/chapters/about.html
- Developer.apple. (2014). Gráfico del simulador IOS. Recuperado el 15 de agosto del 2014 de https://developer.apple.com/library/ios/documentation/IDEs/Conceptual/iOS_Simulator_Guide/Introduction/Introduction.html
- Digitalversus. (2014). Respuesta de frecuencia de los dispositivos auriculares *Earpods*. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://www.digitalversus.com/headphones/apple-earpods-p14450/test.html>
- En.audiofanzine. (2014). Monitores de estudio dynaudio BM5A. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://en.audiofanzine.com/active-monitor/dynaudio/bm-series-bm5a-mkii/medias/pictures/a.play,m.742986.html>
- Fasttech, (2012). Auriculares Earpods Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://www.fasttech.com/product/1064901-in-ear-ear-pods-fit-to-shape-earphones-for-iphones>
- Gaes, (2014). Valencia, España. Recuperado el 13 de agosto de 2014 de <http://www.gaesivsordera.es/blog/otitis-infeccion-de-oido-medio-comun/>
- Gelfand, S. (1998). *Hearing*, (3.^a ed.), New York, Marcel Dekker.
- Gobierno de España, (2006). Real Decreto 286, España, Recuperado el 12 de agosto de 2014 de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/2006/286_2006/PDFs/realdecreto2862006de10demarzosobrelaprotecciondelasal.pdf

- Htguide, (2009). Respuesta de frecuencia del micrófono de medición dbx RTA-M. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://www.htguide.com/forum/printthread.php?t=34520&page=3&pp=50>
- IEES, (1990). Decreto Ejecutivo 2393. Recuperado el 12 de Agosto de 2014 de <http://www.prosigma.com.ec/pdf/nlegal/Decreto-Ejecutivo2393.pdf>
- Kogan, P. (2004). *Análisis de la eficiencia de la ponderación "A" para evaluar efectos del ruido en el ser humano*, Universidad austral de Chile, Recuperado el 06 de junio de <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/kogan.pdf>
- Kryter, K. (1985). *The Effects of Noise on Man*, (2.^a ed.), Londres, Academic Press.
- López, V. (2014). *Concienciatec*. Recuperado el 12 de Agosto de 2014 de http://varinia.es/blog/wpcontent/uploads/2009/12/grafi_curvspondera.gif
- Ministerio de Salud, (2000). Decreto Supremo N° 594, Chile. Recuperado el 13 de agosto de 2014 de <http://www2.udec.cl/matpel/legis/594-1999.pdf>
- Ministerio de Salud. *Vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a ruido*, Guía técnica, Perú. Recuperado el 14 de agosto de 2014 de http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20de%20VST%20Expuestos%20a%20Ruido.pdf
- Miyara, F. (2004). *Acústica y Sistemas de Sonido*, (4.^a ed.)
- Moore, B. (2003). *Psychology of Hearing*, (5.^a ed.), Academic Press, San Diego.
- Musiciansfriend, (2014). Interfaz de audio Mbox 2 mini. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://www.musiciansfriend.com/pro-audio/digidesign-mbox-2-mini>
- MusicSpace, (s.f.). Micrófono dbx RTA-M. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://www.musicSpace.co.th/?product=dbx-rta-m-reference-microphone>
- OMS, (2013). *Sordera y pérdida de la audición*, Nota descriptiva N°300, Recuperado el 14 de agosto de 2014 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/es/>



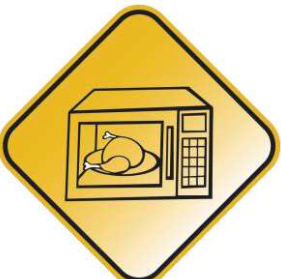

- OSHA, (1970). *Occupational Safety & Health Administration*, Recuperado el 12 de agosto de 2014 de https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9736
- Querol, J. (2011). *Desarrollo de una aplicación distribuida para dispositivos IOS*. Recuperado el 12 de septiembre de 2014 de <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15598/Tesis%20Javier%20Querol.pdf?>
- Recuero, M. (1994). *Ingeniería Acústica*, Madrid, Editorial Paraninfo.
- Rocamora, M. (2006). *Apuntes de Acústica Musical*, Universidad de la república oriental de Uruguay. Recuperado el 06 de junio de <http://www.eumus.edu.uy/eme/ensenanza//acustica/apuntes/fisica-del-sonido.pdf>
- AcademiaTesto. (2010) Longitud de onda. Recuperado el 11 de agosto de 2014 de http://www.academiatesto.com.ar/cms/sites/default/files/333_87.jpg?1270827458
- Tratme, (2014). Auriculares Sony In-Ear Clip mdr as200. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://www.tratme.co.nz/Deal/Manawatu/good-price-apr14ad>
- Underwateraudio. (2014). Earbuds de la empresa Apple. Recuperado el 9 de septiembre de 2014 de <http://www.underwateraudio.com/blog/what-makes-perfect-running-headphones-and-earphones/>
- Vr-zone, (2014). Dispositivos In-Ear Mobile Jamz. Recuperado el 9 de septiembre de 2014 de <http://vr-zone.com/articles/monster-introduces-mobile-jamz-high-performance-in-ear-headphones/11872.html>

ANEXOS

Anexo 1. Gráficos equivalentes utilizados en la programación de la aplicación.

Sonidos Característicos.	Nivel Sonoro dB(A)	Gráfico
Turbina de avión.	140	
Disparo de un arma de fuego.	130	
Concierto de Rock	120	
Ruido en discotecas	115	
Ruido de helicópteros	110	

Sirena de policía	100	
Martillo neumático	95	
Ruido de Motocicleta a 1m	90	
Grito fuerte a 1m	85	
Ruido licuadora	80	
Ruido de aspiradora	75	

Tráfico en la ciudad.	65	 A yellow diamond-shaped icon with a black border, depicting a traffic jam with several cars on a road.
Conversación Normal.	55	 A yellow diamond-shaped icon with a black border, showing two stylized human figures sitting at a table and talking, with sound waves above them.
Ruido microondas	45	 A yellow diamond-shaped icon with a black border, showing a microwave oven with a turkey inside.
Habitación tranquila.	40	 A yellow diamond-shaped icon with a black border, showing a person lying in bed sleeping, with 'Zzz' above their head.