

INGENIERÍA DE SONIDO

**Desarrollo de una aplicación móvil para medir
la dosis de ruido en auriculares según los
niveles de escucha†**

Autor: Federico Damis
Tutor/es: Joaquín Mansilla

(†) Tesis para optar al título de Ingeniero/a de Sonido

Noviembre 2018

Agradecimientos

En primer lugar, dar gracias a la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF), tanto a sus autoridades, como a su cuerpo docente, quienes ponen un empeño especial en impartir conocimientos y promover la transferencia de valores de formación hacia el alumnado sin ningún tipo de distinción. Por promover un espacio ideal para el desarrollo de ideas y brindar a todos y cada uno de los alumnos todos los recursos que esta institución dispone. Un especial agradecimiento por la participación de esta tesis al tutor Ing. Joaquín Mansilla, quien supo guiarme para llevar a cabo este trabajo de investigación, ayudarme a despejar las dudas e inconvenientes que se presentaron y ser un gran profesor y una gran persona; también al coordinador de la carrera Ing. Alejandro Bidondo por llevar adelante la enorme tarea de profesionalizar día a día la carrera de Ingeniero en Sonido en la Argentina.

Por último y no menos importante, quiero dar un afectuoso y cálido agradecimiento a mi familia, quien me apoyó en todas mis decisiones desde el primer día y siempre son un sostén incondicional; a mis amigos, quienes supieron apaciguar aquellos días que habría que arrancar del almanaque y expulsar de la memoria y compartir los frutos en la buena cosecha; y finalmente, a compañeros e infinidad de personas que se cruzaron en mi vida durante esta etapa de formación universitaria, tal vez una de las etapas más preciosas que me ha tocado vivir. A todos y cada uno de ellos aquí mencionados, mi profunda estima, admiración y dicha de haber compartido estos momentos.

Índice de Contenidos

1.Introducción	9
1.1 Fundamentación	9
1.2 Objetivos	10
1.2.1 Objetivo general	10
1.2.2 Objetivos específicos	10
1.3 Estructura de la investigación	10
2. Marco Teórico y Estado del Arte	11
2.1 Exposición sonora	11
2.2 Prevención	21
2.3 Aspectos sociales y culturales del uso de PLDs	27
2.4 Herramientas actuales de dosimetría	30
2.5 Sonoridad	42
2.6 Norma ITU-R BS.1770-4	50
3. Metodología y Diseño experimental	52
3.1 Aspectos generales	52
3.2 Elección del algoritmo de normalización de sonoridad	53
3.3 Metodología de medición aplicada	57
3.4 Desarrollo del software de cálculo de dosis	66
4. Resultados y Análisis de Datos	73
4.1 Obtención de los valores de calibración	73
5. Conclusiones y líneas de investigación futuras	78
6. Referencias bibliográficas	81
7. Anexos	84
7.1 Anexo I: Sección principal de código de la aplicación desarrollada	84

Índice de Figuras

- Figura 1. Valores de $L_{Aeq,8h}$ obtenidos en función de la edad de los participantes y su género. Williams (2005) [12]. 14
- Figura 2. Incidencia de tinnitus en función de los niveles de $L_{Aeq,8h}$ encontrados y el género. Williams (2005) [12]. 16
- Figura 3. NIHL autoreportado en función de los niveles de $L_{Aeq,8h}$ encontrados y el género. Williams (2005) [12]. 16
- Figura 4. Incidencia de tinnitus en función de años de uso de PLD y niveles de $L_{Aeq,8h}$ encontrados. Williams (2005) [12]. 17
- Figura 5. Representación de los valores calculados de nivel de exposición diaria en boxplot. Levey et al. (2011) [7]. 19
- Figura 6. Representación de los valores calculados de nivel de exposición semanal en boxplot. Levey et al. (2011) [7]. 20
- Figura 7. Histograma de los valores calculados para el nivel de exposición semanal. Levey et al. (2011) [7]. 20
- Figura 8. Diagrama del conexionado para obtención de las tensiones de umbral, grabación de la señal eléctrica suministrada y registración del sonido ambiente. Miyara et al. (2011) [33]. 34
- Figura 9. Comparación entre la respuesta del auricular HDA 200 medida en HATS y la respuesta calculada en tímpano a partir de los datos especificados. Miyara et al. (2011) [33]. 35
- Figura 10. Curvas de $20 \log (V_{A,U}/V_{T,U})$ obtenidas para seis sujetos normoyentes sobre el umbral de audición. Miyara et al. (2011) [33] 36
- Figura 11. Dosímetro según Patente Nº US 9,055,363 B2 [36]. 37
- Figura 12. Colocación del dispositivo dentro del oído. Patente Nº US 9,055,363 B2 [36]. 38
- Figura 13. Vista en corte del micrófono de medición. Patente Nº US 9,055,363 B2 [36]. 38
- Figura 14. Dosímetro incorporado a un auricular del tipo “headset”. Patente Nº US 9,055,363 B2 [36]. 39

▪ Figura 15. Diagrama de flujo de un sistema de reducción de niveles a partir de cálculo de daño auditivo. Patente US 9,167,339 B2 [37].	40
▪ Figura 16. Implementación analógica/digital del método de procesamiento de la Patente US 9,167,339 B2 [37].	41
▪ Figura 17. Curvas isofónicas de Fletcher y Munson.	44
▪ Figura 18. Filtro inverso promedio de las curvas isofónicas. David Robinson (2002)[39].	44
▪ Figura 19. Curva de ponderación “A”, “B” y “C” en relación a la respuesta en frecuencia del oído. David Robinson (2002) [39].	45
▪ Figura 20. Filtro IIR del tipo “Yulewalk” (izquierda). Respuesta combinada de un filtro “Yulewalk” con un filtro pasaaltos “Butterworth” de segundo orden (derecha) David Robinson (2002) [39].	45
▪ Figura 21. Histograma de los valores RMS correspondientes a 3 muestras distintas. David Robinson (2002) [39].	46
▪ Figura 22. Implementación de <i>ReplayGain</i> en el reproductor multimedia Winamp.	49
▪ Figura 23. Diagrama en bloques del algoritmo de ITU-R BS.1770-4.	50
▪ Figura 24. Respuesta en frecuencia de la primera etapa de filtrado aplicada para el algoritmo de ITU-R BS.1770-4 [50].	50
▪ Figura 25. Respuesta en frecuencia de la segunda etapa de filtrado aplicada para el algoritmo de ITU-R BS.1770-4 [50].	51
▪ Figura 26. Alternativas de colocación de micrófono dentro del oído según norma ISO 11904-1.	59
▪ Figura 27. Colocación de micrófonos durante la medición.	59
▪ Figura 28. Diagrama de conexión utilizado para las mediciones.	60
▪ Figura 29. Software de medición WavToNPS.	62
▪ Figura 30. Configuración experimental: por debajo de los auriculares (alimentando señal desde el teléfono), se encuentran los micrófonos in-ear que se conectaron a la interfaz de audio para la posterior grabación de la señal.	63
▪ Figura 31. Configuración de <i>ReplayGain</i> utilizada durante la medición.	64
▪ Figura 32. Ciclo de vida de un objeto <i>Activity</i> , según SDK de Android.	67
▪ Figura 33: Pantalla principal de la aplicación.	68
▪ Figura 34. Pantalla de configuración de la aplicación.	68

▪ Figura 35. Servicio iniciado a partir de la aplicación. Se podrá ver que se encuentra iniciado a partir de la barra de notificaciones.	69
▪ Figura 36. Algoritmo utilizado por el software desarrollado.	70
▪ Figura 37. Barra de nivel sonoro de dispositivos Android.	71
▪ Figura 38. Comparación de valores del auricular M50 para las tres muestras de audio.	74
▪ Figura 39. Comparación de valores del auricular M20 para las tres muestras de audio.	75
▪ Figura 40. Comparación de valores del auricular AKG para las tres muestras de audio.	75
▪ Figura 41. Comparación de valores de T1 para los tres tipos de auriculares.	76
▪ Figura 42. Comparación de valores de T2 para los tres tipos de auriculares.	76
▪ Figura 43. Comparación de valores de T3 para los tres tipos de auriculares.	77

Índice de Tablas

▪ Tabla 1. Asociación entre parámetros psicosociales y respuestas adaptativas. Vogel et al. (2007) [2].	24
▪ Tabla 2. Asociación entre parámetros sociodemográficos y respuestas adaptativas. Vogel et al. (2007) [2].	26
▪ Tabla 3. Coeficientes de ponderación para los distintos tipos de canales de entrada. ITU-R BS.1770-4 [50].	51
▪ Tabla 4. Resultados de análisis de sonoridad para la plataforma Spotify.	54
▪ Tabla 5. Resultados de análisis de sonoridad para <i>ReplayGain on-the-fly</i> .	55
▪ Tabla 6. Resultados de análisis de sonoridad para <i>ReplayGain</i> estándar.	56
▪ Tabla 7. Muestras seleccionadas para realizar las mediciones de calibración del software.	57
▪ Tabla 8. Diferencias entre ISO 11904-1 y 11904-2.	58
▪ Tabla 9. Tabla para conversión de valores de medición a valores de campo libre/difuso según norma ISO 11904-1.	65
▪ Tabla 10. Resultados obtenidos de la medición de ruido de fondo.	73
▪ Tabla 11. Promedios por auricular y promedio total obtenido para la calibración del software.	78

Resumen

Esta investigación está dirigida a resolver un problema concreto, que es la falta de información certera con respecto a la exposición sonora al realizar escucha recreativa en auriculares utilizando un dispositivo móvil. Para esto se analizó en primer lugar cuál es la dimensión de los riesgos asociados a la escucha en auriculares, así como los métodos de análisis de la exposición y dosimetría existentes. En función de ello, se desarrolló un software para S.O. Android que calcula segundo a segundo, los valores de dosis de ruido en dBA, dependiendo del nivel configurado de escucha por el usuario y que alerta a éste en caso de superar el umbral de 85 dBA durante el día (según criterios de organismos reconocidos de seguridad ocupacional). Esta aplicación lleva a cabo estos cálculos a partir de una calibración introducida dentro del software (para determinar el nivel sonoro continuo equivalente por segundo, para cada nivel disponible dentro del teléfono móvil) y aplicando como condición necesaria un algoritmo de normalización de sonoridad. Se compararon varios algoritmos de normalización de sonoridad y se obtuvieron los valores de calibración para 3 tipos de auriculares distintos y un modelo de teléfono móvil determinado, basándose en los lineamientos de la norma ISO 11904-1. Como resultado final, se compararon los valores obtenidos para cada conjunto de auricular-celular y fueron promediados para obtener una calibración que sea lo más representativa posible de estos casos. Finalmente, se señalaron los criterios para mejorar la precisión del software, como por ejemplo aumentar la cantidad de mediciones para hacer más representativa la calibración, crear presets de calibración distintos o aplicar mejores algoritmos de normalización de sonoridad.

Palabras claves: "auriculares", "escucha recreacional", "pérdida auditiva", "exposición sonora", "dosis de ruido", "dosimetría", "sonoridad", "normalización de sonoridad", "ReplayGain", "Android", "software".

Abstract

This study focuses on the lack of precise information regarding noise exposure while listening to music using headphones. In the first place, the associated risks with the use of headphones were analyzed as well as existing methods to determine noise exposure. A mobile application was built, which allows to calculate noise exposure values every one second depending on the volume set by the user. This application triggers an alert as soon as the noise exposure level rises above 85 dBA. The software produces its calculations by means of input calibration values and applying a compulsory Loudness normalization algorithm. Various normalization algorithms were tested and compared. Also, calibration values were obtained for three different headphones, according to ISO 11904-1. Calibration values for these headphones were analyzed, compared and averaged in order to obtain an overall calibration setting. This overall setting represented mean values for the three transducers. Finally, improvements in order to increase the accuracy were discussed. For example, increasing the amount of measurements to cover a wider spectrum of headphones, creating calibration presets, applying better Loudness normalization algorithms, etc.

Keywords: "headphones", "recreational listening", "hearing loss", "noise exposure", "noise dose", "Loudness", "Loudness normalization", "ReplayGain", "Android", "software"

1. Introducción

1.1 Fundamentación

El desarrollo tecnológico ha tenido a lo largo de la historia de la humanidad grandes y diversas consecuencias en el estilo de vida de los seres humanos. La industria del audio nunca fue ajena a este proceso y su potencia innovadora ha dado lugar a una democratización del acceso a dispositivos de reproducción portátiles de bajo costo. Esto a su vez, acompañado por el auge de algoritmos de compresión que facilitan la distribución de la información sonora digital y la miniaturización de los dispositivos de reproducción, ha diversificado la oferta en el campo de la estimulación auditiva.

Sin ir más lejos, otro dispositivo que ha tomado gran relevancia dentro de la oferta tecnológica actual ha sido el teléfono celular. Hoy en día se encuentra tan diseminado que es muy difícil encontrar una persona que no cuente con un dispositivo propio. Y su gran ventaja comparativa es la posibilidad de centralizar funcionalidades tecnológicas: desde llamadas y mensajes de texto, hasta la posibilidad de navegar por internet, almacenar información, e infinidad de tareas que son posibles en un único dispositivo gracias a la enorme cantidad de aplicaciones en el mercado.

Dicho esto, cabe destacar que desde el punto de vista sonoro el cerebro humano parece haber sido concebido para analizar la información acústica proveniente de campo lejano, es decir, proveniente de ondas planas [1]. Sin embargo, todos estos avances han hecho posible el estímulo sonoro de campo medio y cercano, sin haber profundizado en las verdaderas consecuencias del uso y abuso de su utilización. El resultado ha sido un dramático aumento de la exposición a altos niveles de presión sonora, lo cual genera el riesgo de pérdida permanente de la audición [2]. La siguiente investigación, por ende, se propone proveer de una herramienta que permita la evaluación en tiempo real de la dosis de ruido en situaciones de escucha con auriculares, la cual conlleva un gran riesgo auditivo debido a los elevados niveles de presión sonora presentes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general de la presente investigación consiste en desarrollar un método lo más preciso posible y de bajo costo que logre analizar los niveles de dosis de ruido en auriculares de dispositivos móviles. Este método apunta a su vez a constituirse como una herramienta de concientización, de fácil acceso, sobre el uso indiscriminado de auriculares a alto nivel sonoro valiéndose de la masividad de los celulares hoy en día.

1.2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos propuestos para llevar a cabo el proyecto son:

- Medir, caracterizar y obtener los distintos niveles de presión sonora (según la norma ISO 11904-1 [3]) de un conjunto auricular/celular a un nivel de sonoridad determinado.
- Desarrollar una aplicación para Android que al ingresarle como parámetros los niveles previamente medidos, se pueda obtener el valor de dosis de ruido diario según los lineamientos de la NIOSH [4] (National Institute for Occupational Safety and Health).

1.3 Estructura de la investigación

El presente trabajo consta de la siguiente estructura:

- 1) Se desarrolla un apartado describiendo el marco teórico y las consideraciones fundamentales que hacen a la escucha recreativa y sus daños asociados. Al mismo tiempo se introducen conceptos acerca de la prevención de dichos daños y las herramientas actuales para cuantificarlos. Se hace mención también al concepto de sonoridad, el cual es de vital importancia para el desarrollo de la aplicación de software diseñada.
- 2) Se expone la metodología utilizada para llevar a cabo las mediciones de calibración, cuyos resultados serán utilizados como parámetros del software. Posteriormente a esto, se hace referencia al diseño y desarrollo de la aplicación móvil pertinente y se muestran los resultados obtenidos durante las mediciones de calibración.

- 3) Por último, se elaboran conclusiones finales sobre el trabajo y se marcan líneas de investigación a futuro en pos de mejorar y continuar la evolución de esta novedosa herramienta.

2. Marco Teórico y Estado del Arte

2.1 Exposición sonora

Existen actualmente varios factores a la hora de adquirir un determinado grado de pérdida auditiva y el más decisivo se trata de la pérdida de la audición inducida por ruido (NIHL – del inglés, *Noise Induced Hearing Loss*), seguido luego por la presbiacusia [5], es decir aquella debida al deterioro producido a causa de la edad. Dentro de la gran variedad de causas de NIHL, a su vez, se puede citar a la exposición a ruidos recreacionales como un agente de relevancia dentro del grupo [6] y es ahí donde entra en juego el uso de dispositivos portátiles de reproducción (PLD – del inglés, *Portable Listening Device*). Las lesiones ocasionadas al sistema auditivo debido a la exposición al ruido son permanentes y acumulativas a lo largo de la vida, ya que este daño en muchos casos implica la muerte de células ciliadas internas y/o externas ubicadas dentro de la cóclea, las cuales el organismo no logra regenerar y son irreversibles.

El NIHL debido a la exposición frecuente a largo plazo por lo general se desarrolla en los individuos de forma progresiva, con lo cual, la pérdida auditiva ya es avanzada al momento en que se toma conciencia de la misma y se detecta. Es dentro de este contexto que se debate cuál es la contribución del uso de PLDs a la aparición de NIHL [7].

Actualmente existe una gran cantidad de evidencia para considerar el NIHL debido a ruido recreacional como de interés en materia de salud pública, así como el desarrollo de políticas sanitarias de prevención de daños. Cabe destacar que a la hora de evaluar el impacto del NIHL se debe considerar tanto el nivel de la escucha, así como la duración de la misma y es la conjunción de niveles altos de escucha durante tiempos prolongados la que provoca la aparición de NIHL en el individuo.

Los niveles de presión sonora a los que son capaces de reproducir estímulos los PLDs superan ampliamente los valores considerados como seguros para la escucha; los mismos puedan llegar a alcanzar valores máximos de 125 dBA SPL [8]. El debate entonces, no pasa por el hecho de si los PLDs pueden alcanzar niveles no seguros para la escucha, sino más bien, de si su utilización se da con la suficiente frecuencia y a niveles lo suficientemente

elevados como para establecer riesgos de NIHL sobre una cantidad significativa de personas.

Estudios realizados por Turunen y Rise arrojaron que sobre un total de 10 sujetos expuestos durante 1 hora al uso de PLDs, 6 de ellos presentaron desplazamiento temporal del umbral auditivo (TTS - del inglés, *Temporary Threshold Shift*) [9], aunque cabe destacar que, si bien los valores de TTS pueden ser utilizados para realizar estimaciones de riesgo de NIHL, no existe una interdependencia directa entre el desplazamiento temporal y el desplazamiento permanente del umbral auditivo, ya que tiene gran trascendencia la duración del desplazamiento y la frecuencia con la que se produce [10]. Por otro lado, Peng et al. (2007) realizaron pruebas audiométricas sobre un total de 120 jóvenes (con un promedio de edad de 20,6 años), los cuales frecuentaban diversos grados de uso de PLDs (por lo menos 1 h por día y 1 año mínimamente de historial de uso) y encontraron que un 14,1 % de los individuos contaban con NIHL (considerando una pérdida superior a los 25 dB en frecuencias comprendidas entre 500 Hz y 8 kHz) [11]. Encontraron además que la proporción de sujetos con NIHL se elevaba significativamente a medida que aumentaba su historial de uso de PLDs, con lo cual concluyeron que existe una correlación entre el riesgo de pérdida auditiva y la exposición sonora excesiva a largo plazo. Este estudio, si bien permite obtener una estimación de la proporción de NIHL en determinadas condiciones, no tiene en cuenta los niveles reales y duración a la que están expuestos los sujetos y que puede determinar que los mismos desarrollen NIHL de forma paulatina a pesar de tener una escucha normal.

No obstante, algunas investigaciones sí tienen en cuenta estas consideraciones, tal es el caso de Williams (2005) [12]. En este estudio, se remarcen en primer lugar las conclusiones del trabajo de Turunen y Rise, que si bien arrojan los datos previamente mencionados sobre TTS, argumentan que “el riesgo de adquirir NIHL mediante el uso de PLDs es demasiado pequeño acorde a lo encontrado para situaciones de escucha normales” [9]. En esta investigación, a diferencia de sus predecesores, se hace hincapié en realizar mediciones “in-situ” sobre sujetos inmersos en un nivel de ruido de fondo elevado, en vez de realizar mediciones en ambientes controlados y/o de laboratorio. Esto posibilita acercarse a una situación de escucha real, tal es el caso de usuarios de PLDs en el transporte público, en donde el sujeto probablemente aumente el nivel de su dispositivo para alejarse del ruido de fondo. A efectos de analizar un efecto tan delicado e irreversible a nivel de

salud como el NIHL es completamente preferible que las condiciones de medición sobreestimen el riesgo presentado. El procedimiento de medición utilizado por Williams se realizó acorde a los criterios de la norma ISO 11904-2 [3], la cual establece un método para obtener valores de nivel de presión sonora en campo libre, partiendo de mediciones de campo cercano mediante un simulador acústico de cabeza/torso (HATS - del inglés, *Head and Torso Simulator*).

La muestra estadística sobre la que se realizaron las mediciones estuvo comprendida por 55 sujetos, de los cuales 15 fueron mujeres y 40 hombres, cuya edad estaba comprendida entre 15 y 48 años, con un promedio de edad de 23,6 años.

Estos sujetos fueron seleccionados al azar en dos puntos neurálgicos de las calles de Sidney (Australia), cercanos a zonas de intersección e interconexión de medios de transporte como trenes, autobuses y subterráneos. Esta elección se dio respetando el objetivo de no solamente ser representativo en cuanto a la cantidad de gente que transita por el lugar, sino también garantizar que los individuos experimenten durante su tránsito altos niveles de ruido de fondo y que sea factible que eleven el nivel de su PLD. El ruido de fondo se observó fluctuando entre 71,1 y 76 dBA, alcanzando un promedio de 73,2 dBA. Al ser abordados los sujetos, se tomaron sus PLDs y sin modificar el nivel de escucha configurado por el usuario se colocaron en el HATS con el objetivo de obtener los valores de nivel sonoro continuo equivalente ponderados A ($L_{Aeq,T}$) durante 120 s, mientras debían completar una breve encuesta consignando horas por día de uso de PLD, años de uso, incidencia de acúfenos y pérdida auditiva autoreferida.

Este método, si bien no permite obtener una medida del daño auditivo real ocasionado, tal es el caso de Peng et al., sí permite obtener una medida de la potencialidad de incidencia de NIHL, aunque los valores obtenidos de nivel de presión sonora sean aproximados y la duración de la escucha haya sido reportada por los sujetos mismos.

Del total de individuos, el $L_{Aeq,T}$ obtenido para sus PLDs varió entre 73,7 y 110,2 dBA, con un promedio de 86,1 dBA, implicando una relación señal-ruido de aproximadamente 13 dBA. Con respecto al tiempo de uso reportado, el mismo se encontró entre los valores de 40 min por día hasta un máximo de 13 horas por día, con un promedio de 2,38 horas. Además, el tiempo de uso histórico de PLDs obtenido (es decir, desde hace cuánto tiempo que realizaban escucha recreativa mediante PLDs) fue desde menos de un mes hasta 15 años, con un promedio de 5,6 años en total.

Una vez medido el $L_{Aeq,T}$ se aplicó una corrección debido a la curva de respuesta en frecuencia del HATS (similar a la respuesta del oído humano, con énfasis en frecuencias medias) y a partir de estos datos, se calculó el nivel sonoro continuo equivalente en 8 horas, también conocido como el nivel de dosis de ruido, definido como “el nivel sonoro medido en dBA de un ruido supuesto continuo y constante durante una jornada de 8 horas, cuya energía sonora sea igual a la del ruido variable medido a lo largo de la misma” [13]. Matemáticamente se puede calcular como:

$$L_{Aeq,8h} = L_{Aeq,T} + 10 \log_{10} \left[\frac{T}{8} \right] \quad (1)$$

siendo T el tiempo total de exposición expresado en horas (reportado por los sujetos en este caso) y $L_{Aeq,T}$ el nivel sonoro continuo equivalente durante T y expresado en dBA. Los valores de $L_{Aeq,8h}$ obtenidos por Williams se pueden observar en la Figura 1.

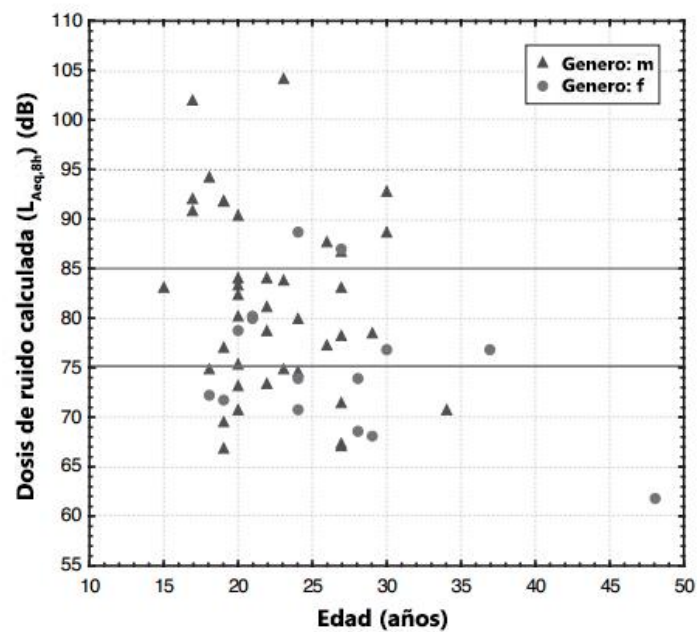


Figura 1. Valores de $L_{Aeq,8h}$ obtenidos en función de la edad de los participantes y su género. Williams (2005) [12].

El valor promedio total obtenido de $L_{Aeq,8h}$ fue de 79,8 dBA con una desviación estándar calculada en 9,0 dBA. En la Figura 1 se pueden observar dos líneas horizontales a la altura de 75 y 85 dBA respectivamente, indicando tres franjas: la primera e inferior, de escucha fuera de riesgo, la siguiente franja de escucha con un nivel de riesgo aceptable y la franja superior mostrando los promedios de dosis considerados de riesgo auditivo. Un nivel de exposición de 85 dBA a lo largo de 8 horas se considera el límite superior a nivel laboral en varias jurisdicciones a lo largo del mundo (así como para organismos especializados en seguridad ocupacional [4]), más allá del cual se considera que existe un riesgo auditivo considerable.

Se estima que, en promedio, una persona que mantiene en 85 dBA su exposición sonora para una jornada laboral de 8 horas a lo largo de 40 años de trabajo, posee una probabilidad del 8 % de adquirir NIHL [14]. Habiendo considerado esto, si bien el promedio de $L_{Aeq,8h}$ obtenido se encontró por debajo del límite, los resultados de Williams arrojan que aproximadamente un 25 % de los sujetos bajo prueba se encontraron en condiciones de riesgo auditivo.

Otro aspecto más que interesante de este estudio se corresponde con la relación entre el nivel de dosis calculado, la incidencia de acúfenos y la percepción subjetiva de pérdida de la audición. En la Figura 2 se puede observar que no existe correlación estadística entre la cantidad de usuarios que no reportaron incidencia de acúfenos y la exposición sonora. Es decir, una gran cantidad de sujetos no reportaron incidencia de tinnitus, a pesar de que sus valores de exposición sonora en algunos casos excedieron valores seguros de escucha.

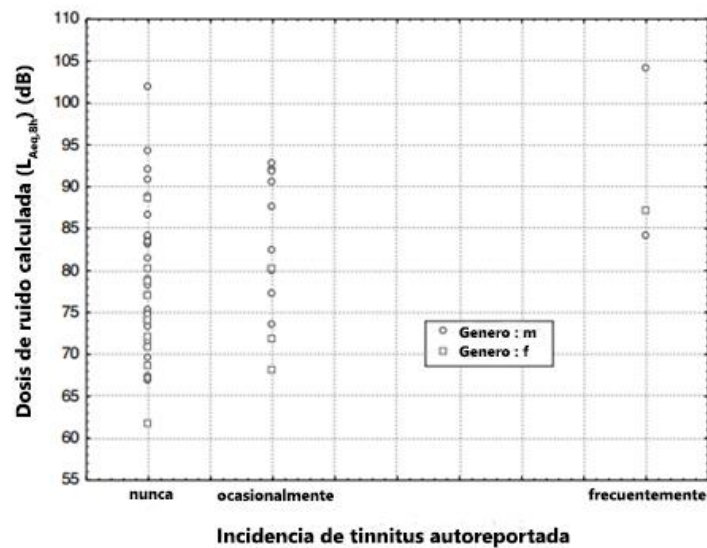


Figura 2. Incidencia de tinnitus en función de los niveles de $L_{Aeq,8h}$ encontrados y el género. Williams (2005) [12].

En la Figura 3, en cambio, se observa la percepción de NIHL por parte de los sujetos de prueba, en función de los niveles de exposición encontrada. Nuevamente, no existe correlación estadística significativa, con una dispersión más marcada que en el caso anterior.

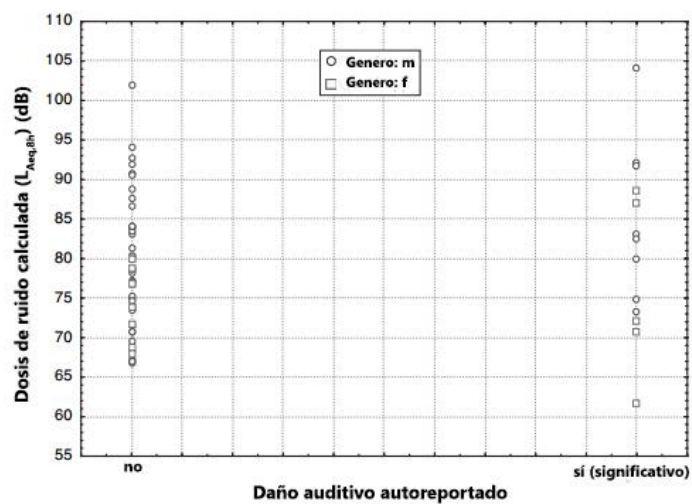


Figura 3. NIHL autoreportado en función de los niveles de $L_{Aeq,8h}$ encontrados y el género. Williams (2005) [12].

Finalmente, en la Figura 4 se exhibe un gráfico de los niveles de exposición, en relación a la cantidad de años de uso de PLD y la incidencia de tinnitus donde no se detectó correlación estadística entre las variables asociadas. Pese a que este estudio no logra complementar los datos mediante medidas objetivas acerca de la salud auditiva de los participantes, estos últimos tres análisis permiten concluir que la propia percepción de un sujeto sobre su salud auditiva no constituye una forma efectiva de evaluar su riesgo auditivo y que el daño es poco probable que se detecte a tiempo si no se consideran prácticas de prevención de riesgos adecuadas.

Sin embargo, en estudios de este tipo y específicamente en este mismo, existe un relativo nivel de incertidumbre dado por el tamaño de la muestra estadística tomada. La validez de las conclusiones es entonces determinada por la representatividad que tenga la muestra estadística sobre la población/universo estadístico a medir y conocer.

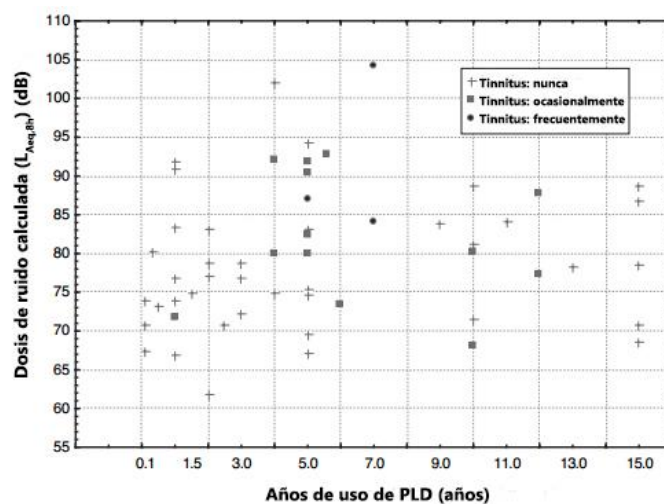


Figura 4. Incidencia de tinnitus en función de años de uso de PLD y niveles de $L_{Aeq,8h}$ encontrados. Williams (2005) [12].

Levey et al. (2011) [7] decidieron por este motivo, realizar un estudio similar al de Williams pero concentrándose en un mayor número de individuos bajo prueba. Su investigación fue realizada a la entrada de un campus universitario en Nueva York (EEUU), el cual se encuentra próximo a una estación de subterráneo. Las pruebas incluyeron la participación de 189 estudiantes (92 hombres y 97 mujeres) promediando 22,2 años de edad, con un rango entre 18 y 53 años.

El método de medición fue muy similar al utilizado por Williams, es decir, se tomaron los PLDs de los sujetos, se midió su nivel sonoro continuo equivalente en ponderación A a través de un HATS según norma ISO 11904-2 y se calculó el nivel de dosis de ruido según la Ecuación (1).

Mientras se realizaban las mediciones sobre el HATS se les pidió a los sujetos llenar un cuestionario consignando información demográfica (fecha de nacimiento, género y edad), si habían llegado hasta ahí en subterráneo, es decir, si provenían de la estación cercana, si habían modificado el nivel de su PLD desde que salieron de la estación, el tipo de auricular que utilizaban y la duración y frecuencia de uso de su PLD.

Se consideró además la duración reportada por los propios individuos, que si bien puede llegar a introducir un nivel de incertidumbre sistemática, en algunas circunstancias, se puede equiparar al comportamiento real de la escucha de los sujetos [15].

Adicionalmente, la influencia de la pérdida auditiva sobre el nivel de escucha de PLDs no es del todo definitiva por el siguiente motivo: la pérdida de sensibilidad en la audición puede ocasionar que los sujetos decidan elevar su nivel de escucha, pero al mismo tiempo, el reclutamiento auditivo, es decir, la mayor sensación sonora que percibe un oído con hipoacusia por lesión coclear, puede originar el efecto contrario; que una lesión lleve al individuo a disminuir el nivel. Al igual que en la investigación de Williams, los estímulos utilizados para las mediciones fueron grabaciones musicales de corta duración. Los resultados obtenidos, en este caso, fueron significativamente distintos. Para comenzar el ruido de fondo se mantuvo entre 56 y 68,1 dBA, (con un promedio de 60,6 dBA) y se calculó además el nivel de exposición semanal ($L_{Aeq,wk}$) como:

$$L_{Aeq,wk} = L_{Aeq} + 10 \log_{10}\left(\frac{T \cdot D_{wk}}{40}\right) \quad (2)$$

siendo T el tiempo de exposición diaria reportado por los sujetos (en horas), L_{Aeq} el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A medido en el HATS, corregido y transformado en nivel sonoro de campo libre (acorde a lo indicado por la norma ISO) y D_{wk} la cantidad de días de uso de PLD por semana reportada.

En total, de los 189 individuos que participaron del experimento, un 58,2 % superaron los límites diarios de exposición mientras que un 51,9 % superaron los límites semanales de exposición (siendo nuevamente 85 dBA los límites en ambos casos); resultados poco alentadores que muestran que el riesgo es aún mayor de lo que pudo

concluir Williams en su estudio y que la posibilidad de adquirir NIHL a través del uso de PLDs es muy alta.

El promedio total de L_{Aeq} corregido para campo libre fue de 92,6 dB y se reportó un promedio de 18,4 horas de uso semanal de PLD por los usuarios. En las Figuras 5 y 6 se pueden observar los diagramas de caja (“*boxplot*”) obtenidos tanto para los niveles de exposición diarios como semanales.

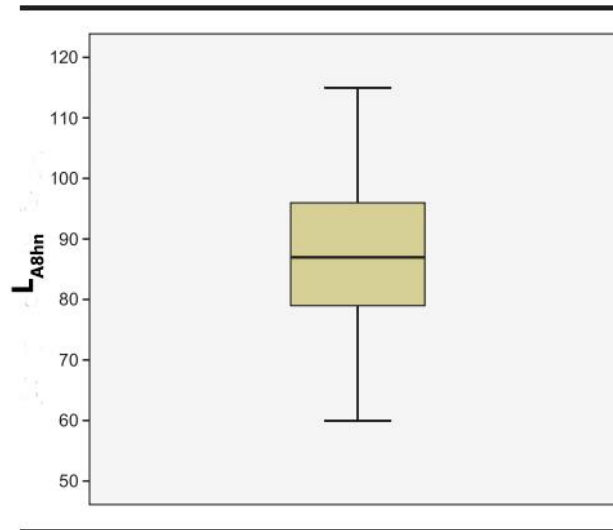


Figura 5. Representación de los valores calculados de nivel de exposición diaria en boxplot. Levey et al. (2011) [7].

En el caso de la exposición diaria (Figura 5), el promedio obtenido fue de 87,2 dBA, con valores extremos entre 60 y 115 dBA; la distancia entre los cuartiles Q1 y Q3 y la mediana (87 dBA) es aproximadamente simétrica pero con un rango intercuartil amplio, de aproximadamente 15 dBA. Con respecto a los valores de dosis semanal obtenidos (Figura 6), se puede observar un promedio de 87,4 dBA (muy similar a los valores diarios, lo cual es esperable si se considera que la dosis semanal se puede prácticamente extrapolar de estos valores), con valores extremos entre 59 y 116,4 dBA. En este caso la distancia de los cuartiles a la mediana (86,7 dBA) es levemente asimétrica, con una distancia mayor hacia Q3 y un rango intercuartil similar al correspondiente a los valores de dosis diaria. En conclusión, estos valores de exposición tanto diaria como semanal sugieren que el sujeto promedio bajo prueba excede los niveles de exposición recomendados por la NIOSH y se encuentra bajo riesgo. Además, si se analiza el histograma para los valores de dosis semanal (Figura 7) se puede contemplar que los datos obedecen a una distribución normal (según

los valores de curtosis y asimetría de la campana obtenida), con una desviación estándar de 11,9 dBA.

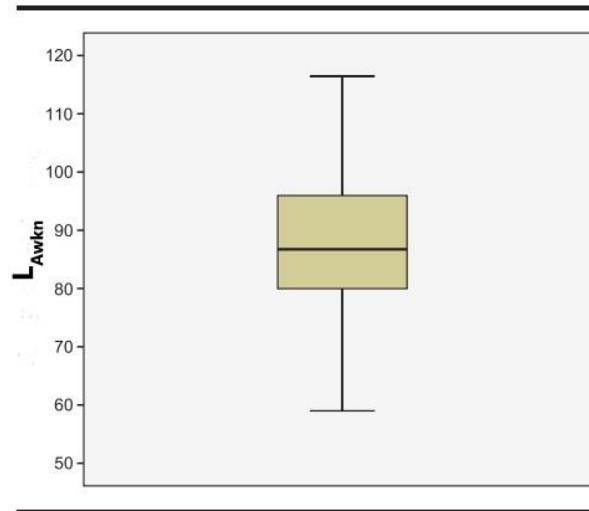


Figura 6. Representación de los valores calculados de nivel de exposición semanal en boxplot. Levey et al. (2011) [7].

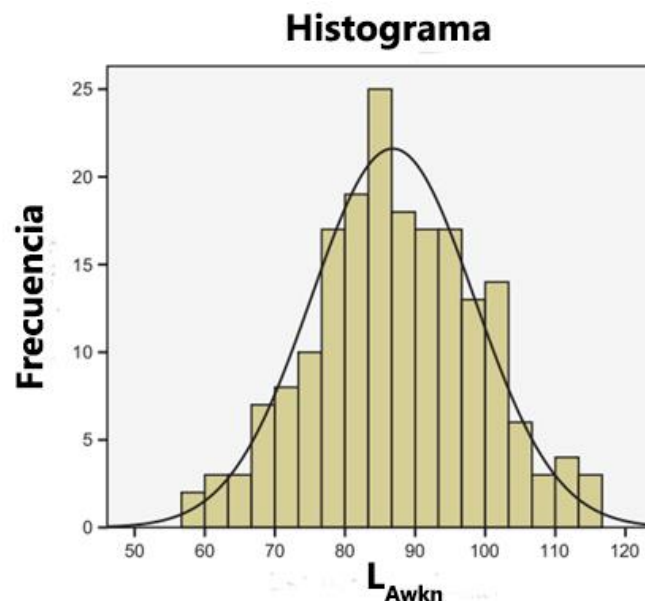


Figura 7. Histograma de los valores calculados para el nivel de exposición semanal. Levey et al. (2011) [7].

Cabe destacar que el 25 % de los participantes obtuvo valores de $L_{Aeq, wk}$ mayores a 95 dBA, un 10 % valores de $L_{Aeq, wk}$ mayores a 102 dBA y un 5 % valores mayores a 107 dBA. Según el estándar ANSI S3.44-1996 [16], para una exposición sonora a lo largo de 10 años correspondiente a 95 dBA de $L_{Aeq, wk}$, el NIPTS (Desplazamiento Permanente de Umbral Inducido por Ruido, del inglés *Noise Induced Permanent Threshold Shift*) puede llegar a

encontrarse cercano a los 20 dB HL (dB *Hearing Loss*); este mismo valor de NIPTS correspondiente a 10 años de exposición a 102 dBA de $L_{Aeq,wk}$ puede alcanzar 36 dB HL; considerando un $L_{Aeq,wk}$ de 107 dBA, el NIPTS puede llegar a ser de 51 dB HL.

Si comparamos estos umbrales según lo informado en el Anexo B de la norma ANSI S3.44-1996, estas estimaciones a 10 años del desplazamiento permanente de umbral se asimilan al umbral correspondiente al sistema auditivo de un hombre de 40, 50 y 60 años respectivamente ($L_{Aeq,wk} = 95$ dBA, 102 dBA, 107 dBA).

Si se toma en cuenta el promedio de edad de los sujetos que participaron en las pruebas de Levey et al. (22,2 años), es concebible que dentro de 10 años el promedio de los sujetos tendrá 32 años aproximadamente y su escucha se asemejará a la de una persona mucho mayor, con el respectivo desgaste que esto implica.

2.2 Prevención

Ya asentados los potenciales riesgos auditivos asociados a la escucha recreativa, es de gran relevancia hacer foco en las acciones preventivas que puedan llegar a disuadir este comportamiento dañino ya que por lo general será mucho más eficiente trabajar sobre la prevención de estas conductas que sobre el control de daños de las mismas. De acuerdo a Danhauer et al. [17] quienes realizaron encuestas en varios países sobre el tema, el 86,6 % de los estudiantes creen que utilizar un iPod a niveles sonoros elevados puede dañar la audición. Estas encuestas advirtieron que los estudiantes poseen un deseo legítimo de ser personalmente responsables de su salud auditiva y que las campañas de prevención que abordan la hipoacusia de forma sensacionalista o exagerada pueden no ser efectivas. Es crucial, por ende, que las distintas instituciones (y en especial las educativas) sean quienes establezcan programas de prevención válidos que se focalicen por ejemplo, en el uso inapropiado de PLDs además de otras fuentes sonoras.

Un enfoque más que interesante acerca de las conductas de prevención es el realizado por Vogel et al. [2] y que se basa fuertemente en la Teoría de la Motivación a la Protección (PMT, del inglés *Protection Motivation Theory*) creada por el Dr Rogers en 1975 [18]. Según los lineamientos de la PMT, la materialización de una conducta saludable (es decir, que tenga un impacto favorable en nuestra salud, o que se realice en resguardo de la misma) se desarrolla como resultado de factores tanto personales como ambientales. La probabilidad de una respuesta de adaptación preventiva se ve incrementada por cuatro

creencias principales, a saber: el hecho de que se perciba una amenaza a la salud como severa (severidad), de una alta relevancia personal (vulnerabilidad), el hecho de que la respuesta de adaptación sea percibida como eficaz a la hora de resguardarse de la amenaza en cuestión (eficacia de la respuesta) y que las habilidades personales y autoestima necesarias para comprometerse a encauzar una respuesta de adaptación preventiva sean elevadas (autoeficacia). No obstante, la probabilidad de lograr este tipo de respuestas se ve disminuida por las recompensas percibidas de una respuesta desadaptativa (es decir, que sea perjudicial), así como de los costos y/o dificultades a la hora de lograr una respuesta positiva.

El trabajo de Vogel et al. es, por ende, de gran relevancia ya que toma a la PMT como referencia y se basa en sus conceptos a la hora de categorizar correlaciones entre factores sociodemográficos, psicosociales y conductas auditivas saludables. Para lograr esto, en primer lugar, se realizó una amplia interpretación de las conductas que se entienden como respuestas de adaptación preventivas, a saber: evitar ambientes ruidosos, el uso de protectores auditivos al momento de realizar actividades con potencial riesgo auditivo, bajar el nivel de dispositivos de reproducción musical, alejarse de fuentes sonoras ruidosas, así como establecer un determinado reposo auditivo luego de largas exposiciones. Una vez definidas estas conductas adaptativas, se realizó un análisis bibliográfico extenso para llevar adelante la tarea de categorizar correlaciones entre factores psicosociales y respuestas adaptativas/desadaptativas encontradas por distintos autores. Se analizaron únicamente los estudios en donde las correlaciones fueron determinadas con un nivel de significación estadístico (p-valor) $p < 0,05$ o mejor. Se encontró que, en consonancia con la PMT, varias investigaciones reportaron una asociación negativa entre las recompensas intrínsecas y extrínsecas de una respuesta desadaptativa y la probabilidad de una respuesta adaptativa. Por ejemplo, las personas jóvenes que mostraron una actitud positiva con respecto a la exposición al ruido, fueron menos propensas a reportar el uso de protección auditiva en discotecas y conciertos y en la medida que sentían mayor atracción personal hacia la música, más fuerte decidían escucharla. Algunos sujetos, reportaron que era necesario un elevado nivel sonoro en la música ya que eso les permitía liberar tensiones, relajarse y que les proporcionaba un efecto físico placentero en el cuerpo. La música a altos niveles les significó un efecto positivo, de satisfacción y motivación a la hora de participar en actividades físicas y

consecuentemente se encontró que el desplazamiento de umbral auditivo es mayor a la hora de realizar actividad física.

Se descubrieron asociaciones positivas entre aspectos de la vulnerabilidad y la severidad (es decir, el hecho de que la amenaza se perciba como tal y que sea de alta relevancia personal) y la probabilidad de una respuesta adaptativa. Por ejemplo, se detectó que el nivel de los PLDs se puede reducir de forma efectiva mediante alertas visuales; que se puede aumentar el uso de protección auditiva mediante la recomendación de profesionales de la salud, mediante la aparición de síntomas de molestia como acúfenos, dolor o pérdida temporal de la audición, al tocar en una banda, al conocer y haber usado protección auditiva previamente, al tener acceso a tapones para los oídos de forma gratuita, o al haber participado de algún programa educativo/institucional de prevención y protección auditiva.

Con respecto a la propiedad de eficacia de la respuesta no se encontraron estudios relacionados pero sí se encontró un estudio en relación a la autoeficacia. El mismo reportó que la presión social jugaba un rol negativo en la autoeficacia a la hora de obtener una respuesta adaptativa, especialmente en los jóvenes. Se ejemplificaba esta situación mediante el hecho de que muchas personas no se sienten cómodas con los niveles sonoros dentro de una discoteca o un recital, pero sienten impotencia para modificar esta situación debido a la gran cantidad de personas que sí lo disfrutan. Por último se analizaron investigaciones en relación a los costos de una respuesta adaptativa. Se encontraron varios estudios indicando una asociación negativa entre esos costos y la respuesta en sí. Por ejemplo, algunos de los impedimentos encontrados a la hora de usar protección auditiva fueron la falta de estética de los dispositivos de protección y la disminución del placer asociado a la escucha. En adición los niveles elevados de ruido de fondo se tornaron una barrera a la hora de intentar bajar el nivel de los PLDs y se encontraron también obstáculos a la hora de mermar los niveles de escucha durante conciertos, tales como el hecho de que se considere prestigioso por los músicos y las bandas en general tocar a niveles sonoros altos. La presión social nuevamente juega un rol importante y puede constituir un impedimento en las respuestas adaptativas. En la Tabla 1 se puede observar de forma resumida las asociaciones entre los parámetros de la PMT y sus respectivas asociaciones hacia respuestas adaptativas/desadaptativas.

Tabla 1. Asociación entre parámetros psicosociales y respuestas adaptativas. Vogel et al. (2007) [2].
Asociación: Una respuesta adaptativa (+) o desadaptativa (-) se espera según lo indicado.
Significación: *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001; NA: significativo pero el autor no precisa.

Correlación	Referencia (año)	Asociación	Nivel de significación
TEORÍA DE LA MOTIVACIÓN A LA PROTECCIÓN			
Recompensas intrínsecas y extrínsecas de una respuesta desadaptativa			
Actitud positiva hacia la música	Widén (2006), Olsen Widén (2004)	-	***
Preferencia por la música	Fucci (1993) (1996)	-	*
Comportamiento desadaptativo en la escucha musical	Florentine (1998)	-	**
Satisfacción y bienestar corporal	Rintelmann (1968)	-	NA
Actividad física	Wilson (2003)	-	***
Auriculares supra-aurales vs semi-aurales	Airo (1996)	-	**
"Bass Booster" encendido	Airo (1996)	-	**
Un solo auricular colocado vs ambos	Hellström (1988)	-	NA
Congregación sin comunicación	Rintelmann (1968)	-	NA
Meses de verano	Hellström (1988)	-	NA
Vulnerabilidad y severidad			
Influencia social			
Profesionales de la medicina (influencia social)	Chung (2005)	+	NA
Seguir el ejemplo de pares	Ferrari (1991)	+	NA
Indicadores visuales	Ferrari (1991)	+	NA
Experiencia previa			
Tocar en una banda musical	Olsen Widén (2004)	+	***
Uso de protección auditiva	Bogoch (2005)	+	***
Síntomas de molestia auditiva	Bogoch (2005)	+	**
Obtención gratuita de protección auditiva	Bogoch (2005), Crandell (2004)	+	NA
Preocupación antes de la exposición a ruido	Bogoch (2005)	+	**
Conocimiento	Chung (2005)	+	NA
Eficacia de la respuesta y autoeficacia			
Influencia social de los pares	Wuest (1992)	-	NA
Costos de una respuesta adaptativa			
Con respecto al uso de protección auditiva			
Preocupación sobre la apariencia física	Bogoch (2005)	-	**
Disminución del placer asociado	Chung (2005)	-	NA
Con respecto a la disminución de los niveles de escucha			
Nivel del ruido de fondo	Airo (1996)	-	***
Mala calidad del audio	Rintelmann (1968)	-	NA
Presión social	Wuest (1992)	-	NA
Prestigio	Rintelmann (1968)	-	NA
COMPORTAMIENTO			
Fumar	Wuest (1992)	-	**

Otro aspecto no menos importante del trabajo de Vogel et al. tiene que ver análogamente con las correlaciones entre factores sociodemográficos y la probabilidad de adquirir comportamientos de prevención auditiva. Se analizaron factores como la edad, el género y el nivel socioeconómico entre otros. Con respecto al primer factor, se encontraron cinco estudios indicando asociaciones diversas y algo ambiguas dependiendo de la situación estudiada. Se encontraron asociaciones positivas (es decir, aumentando la respuesta adaptativa en la medida en que el sujeto era de mayor edad) en los casos donde los sujetos de mayor edad poseían una mayor valoración negativa del ruido, un mayor uso de protección auditiva y presentaban un uso moderado del nivel sonoro de sus PLDs. De forma inversa, se detectaron asociaciones negativas con la edad en los casos en que los jóvenes de mayor edad informaron frecuentar más regularmente lugares como recitales y discotecas, donde el nivel sonoro es elevado. El factor de la edad, por lo tanto, no constituyó un parámetro relevante por sí mismo, sino que estuvo determinado por otras condiciones sociales inherentes a los individuos. La mayor cantidad de estudios sociodemográficos analizados se centraron en el género, con dieciséis estudios. En la mayoría de ellos se encontró una asociación negativa del género masculino (es decir, que los hombres fueron menos propensos que las mujeres a incurrir en respuestas adaptativas) y además se encontró que presentan mayores niveles de exposición, mayor preferencia a escuchar música a altos niveles, mayor duración en el uso de PLDs, menor preocupación acerca de la aparición de síntomas de daño auditivo, menor predisposición a utilizar elementos de protección, mayor prevalencia de desplazamiento del umbral auditivo y de NIHL en alta frecuencia.

Se encontraron adicionalmente algunos estudios referidos al nivel socioeconómico de los sujetos. En alusión a estos casos, se determinaron asociaciones positivas a medida que aumentaba el status, la posición y la escolaridad de los individuos; aquellos con mejor posición reportaron mayor preocupación sobre síntomas de problemas auditivos, mayor valoración negativa sobre el ruido y una mayor propensión a protegerse. Un estudio en particular sostuvo, en esta misma línea, que los jóvenes provenientes de familias con menos ingresos presentaban niveles mayores de daño auditivo y desplazamiento de umbral. En la Tabla 2 se pueden observar las asociaciones sociodemográficas examinadas. Si bien la totalidad de las investigaciones detalladas por Vogel et. al refieren únicamente a sujetos de joven edad (entre 12 y 25 años), constituyen un panorama muy completo sobre

la capacidad y la eficacia de corregir el proceder nocivo a la hora de realizar una escucha recreacional y es de vital importancia asentarlos para poder complementarlo a través del método que se propondrá en este trabajo particularmente. Además, permite identificar y caracterizar potenciales grupos de riesgo según los factores mencionados y enmarcarlos dentro de una teoría tan ampliamente aceptada en el ámbito de la salud como la PMT.

Tabla 2. Asociación entre parámetros sociodemográficos y respuestas adaptativas. Vogel et al. (2007) [2]. Asociación: Una respuesta adaptativa (+) o desadaptativa (-) se espera según lo indicado. Significación: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NA: significativo pero el autor no precisa.

Factores sociodemográficos	Referencia (año)	Asociación	Nivel de significación
Edad (mayor)	Olsen Widén (2004)	+	***
	Serra (2005)	+	NA
	Ising (1997)	+	NA
	Olsen Widén (2004), Jokitulppo (1997)	-	***
	Serra (2005)	-	NA
Género (masculino)	Jokitulppo (1997)	+	***
	Mercier (2002)	+	**
	Widén (2006), Olsen Widén (2004), Smith (2000), Ferrari (1991)	-	***
	Mercier (2002)	+	**
	Jokitulppo (1997)	-	**
	Williams (2005), Meyer-Bisch (1996), Rice (1987), Catalano (1985)	-	*
	Serra (2005), Mercier (2003), Niskar (2001) (1998), Lewis (1989), Bradley (1987)	-	NA
Nivel socioeconómico/escolaridad (primario hasta universitario)	Olsen Widén (2004)	+	***
	Olsen Widén (2004)	+	*
	Niskar (1998)	+	NA
	Ising (1997)	+	NA
Etnicidad (caucásico vs afroamericano)	Crandell (2004)	+	***
	Crandell (2004)	-	*
Nacionalidad (Suecia vs EEUU)	Widén (2006)	+	***

2.3 Aspectos sociales y culturales del uso de PLDs

Pese a que reviste gran importancia cuantificar el fenómeno del uso masivo de PLDs para determinar sus riesgos asociados, es primordial suplementar este análisis con información cualitativa que permita explorar la temática de una forma más integral. La irrupción en el mercado del iPod, allá por el año 2001 [19], por ejemplo, implicó un vuelco a nivel social y cultural en la forma que se escuchaba música hasta entonces. Sin ir más lejos, muchos teóricos e investigadores culturales citan al Walkman de Sony (uno de los primeros PLDs que se desarrollaron) como un artefacto cultural que encarna valores muy vinculados a las sociedades posmodernas y posindustriales: movilidad, tecnología, modernismo, libertad de elección, juventud y entretenimiento [20].

El concepto de “escucha privada en lugares públicos” representó un nuevo estilo de vida: el usuario del Walkman se convirtió en una figura solitaria entre la multitud, utilizando a la música como sedante para evadir la rutina del día a día. Este dispositivo le permitió al sujeto transformarse en “un individuo autosuficiente deambulando en soledad a través del espacio urbano, un nómada urbano” [20]. El iPod, desarrollado por Apple, supo extender y perfeccionar esta idea. Los consumidores hoy en día cuentan con un abanico de elecciones y personalización sin precedentes, con el acceso a miles de canciones y listas de reproducción particularizadas. Con el devenir de Internet, las tecnologías de compresión de audio, el intercambio masivo de archivos y la fluidez de la información en general (cosa que no sucedía de tal forma en la era del Walkman), la música es infinitamente repetible y reproducible. Los usuarios de los PLDs pueden escapar del bullicio de la ciudad, evitando alarmas de automóviles, el ruido de los subterráneos, bocinas y hasta de otras personas que circulen alrededor.

Los PLDs son particularmente atractivos para las personas que se desenvuelven en culturas occidentales modernas, en donde hay un gran apremio por el espacio personal, desencadenando el deseo de apartarse y escapar del espacio urbano [21] [22]. Al igual que el automóvil, el PLD puede proporcionarle soledad y aislamiento al peatón, incluso en proximidad de otras personas. Los auriculares blancos, muy distintivos del usuario de iPod, envían el mensaje de que el portador de los mismos no debe ser molestado ni interrumpido [23]. Las personas, hoy en día, anhelan amoldar el espacio público conforme a sus deseos [24]. Los consumidores de PLDs aspiran a redefinir su agenda diaria y crear un “soundtrack”

personalizado que acompañe su ida al trabajo o su rutina de ejercicios en el gimnasio. De esta forma eliminan el paisaje sonoro público y crean su propio ambiente sonoro controlado [25]. Blesser et al. [26] argumenta que, además de la necesidad social de controlar e individualizar el espacio personal, el iPod puede llegar a generar estados alterados de la conciencia. Pese a que muchas de las investigaciones existentes son indirectas, las mismas sugieren que la música estimula el cerebro y modifica el estado emocional del receptor, ocasionando tanto relajación como excitación. Gracias al fenómeno acústico del enmascaramiento, la música a elevados niveles impide que el oyente escuche otra cosa que no sea el estímulo en cuestión, transportándolo de esta forma desde el espacio sonoro que está percibiendo en el mundo real y físico, hacia otro imaginario y ficticio determinado por la ejecución de los músicos [26]. Los usuarios de PLDs aseguran sentirse más tranquilos y serenos durante sus viajes en transporte público, o incluso durante jornadas laborales triviales [27].

Basado en las teorías culturales de Adorno, Walter Benjamin, Heidegger, Marcuse y McLuhan, Bull [23] alega que la privacidad y sentido de la personalización y pertenencia del iPod crean una suerte de conexión en los espacios distantes y exclusivos de la cultura urbana moderna. Como consecuencia necesaria de esto, sus usuarios toman al producto casi como una necesidad vital. A menudo se refiere a estas personas como “sherpas urbanos” o “sherpas digitales”, es decir, que dependen de sus PLDs para navegar el espacio urbano de la misma forma que los escaladores de montañas en el Himalaya dependen de sus guías [23].

La vida urbana moderna puede ser particularmente alienante para los jóvenes, los cuales durante la adolescencia deben lidiar con la formación de su personalidad y sus rasgos de individualización. La música constituye un rol primario en esta búsqueda de sentido, identidad y esparcimiento [28]. El diseño del iPod, acompañado por campañas de marketing refinadas, atrae al público más joven. Las imágenes de los diminutos auriculares blancos enmarcan la posesión de un producto cultural superior [23]. El iPod garantiza una membresía a un club privado cuyos integrantes se pueden contar de a millones [29]. Según el grupo de investigación de mercado estadounidense Student Monitor, durante el 2006 los estudiantes universitarios calificaron a la escucha recreativa en sus iPods como la actividad más popular entre sus pares [30]. El iPod, en ese entonces, se convirtió en el símbolo de una generación y hasta una marca de estatus social.

Con el tiempo y principalmente con la proliferación de los smartphones y el nacimiento de las redes sociales, el rol del iPod fue eventualmente sustituido por el del iPhone, su contracara dentro del mundo de la telefonía móvil y el producto por excelencia de Apple al día de la fecha. Hoy en día, el rol e impacto de las redes sociales ha desplazado por completo al de la escucha recreativa de música, pero sin perjuicio de ésta, ya que se trata de actividades totalmente complementarias y que se pueden realizar en simultáneo, ocupando y monopolizando los tiempos de ocio de las personas.

Es por esto que la escucha a altos niveles sigue siendo uno de los pasatiempos favoritos de las personas jóvenes. Se asume razonablemente que ellos se sienten más atraídos que los individuos de mayor edad a eventos que involucran música a niveles elevados, como ser recitales, discotecas, etc. Desde la irrupción del rock 'n' roll (y quizás ya desde antes también) la música fuerte se considera un signo de juventud, rebeldía, expresión e individualidad y también viene a reforzar los cismas generacionales existentes. Basta con mencionar que son los adultos mayores quienes normalmente instan a los adolescentes a disminuir los niveles de escucha y rara vez se da la situación inversa. Las sensaciones de alienación en los jóvenes urbanos y sus limitaciones propias de expresión y autoexpresión, pueden provocar que estos individuos quieran y/o necesiten ir en pos del encuentro de estados alterados de la conciencia o experiencias físicas superadoras. Efectos fisiológicos del cuerpo, tales como la estimulación de centros cerebrales o la velocidad del latido del corazón, pueden verse intensificados mediante la estimulación auditiva con música a altos niveles [31].

Por último, el anonimato característico de la vida moderna impulsa el deseo individual de proclamar la identidad propia [32], lo cual puede dar indicios de que los usuarios de PLDs buscan de algún modo exponerse a los demás al escuchar a niveles lo suficientemente altos como para que no sean ellos únicamente los que estén oyendo. Los sujetos que transitan con sus dispositivos al máximo nivel están en realidad transmitiendo y enviando mensajes sobre sus gustos y personalidad, de forma tal, de poder conectarse con otras personas, en un ambiente que puede presentárseles como ajeno y/o hostil.

2.4 Herramientas actuales de dosimetría

Habiendo evaluado tanto cuantitativa como cualitativamente los riesgos, comportamientos de prevención y factores asociados a la escucha recreativa, es importante identificar aquellas herramientas que permitan conocer de forma lo más acertada posible la exposición sonora que se produce durante la escucha. La forma óptima con la que se cuenta en la actualidad de medir la exposición sonora es a través de la obtención de la dosis de ruido. Y para poder obtenerla de la forma más precisa posible, la herramienta más tradicional que se utiliza es el dosímetro. Empresas de renombre como Brüel & Kjær, 3M, o Svantek, fabrican y comercializan este tipo de dispositivos y tienen la ventaja de que a diferencia de los sonómetros tradicionales, además de obtener el nivel de presión sonora, realizan una integración en el tiempo y pueden extrapolar los valores adquiridos durante mediciones de corta duración (entre 5 y 10 min por ejemplo) a una exposición durante 8 horas, la cual se toma como estándar de la jornada laboral para poder determinar si los niveles a lo largo de esa jornada se consideran seguros o no y que se cumplan con las condiciones legales de higiene y seguridad en el trabajo.

Si bien estos dispositivos cumplen con creces su funcionalidad específica tienen como desventaja su elevado costo. Tal es así que muy pocas empresas cuentan con la posibilidad de tener un equipo de estos a su disposición y poder así auditar si la exposición de sus empleados se encuentra dentro del marco de la ley. Teniendo esto en consideración, es de suponer que sea prácticamente nulo el control que un individuo y/o particular pueda tener sobre propia exposición sonora recreativa o fuera de su ámbito laboral. No obstante, ha habido valiosos intentos de distintos investigadores por lograr herramientas o desarrollar métodos que, sin tener el costo asociado de un dosímetro, puedan suplirlos y alcanzar resultados similares. En Argentina, un antecedente de esto, es el trabajo realizado por Miyara et al. [33]. Este trabajo presenta un novedoso método para poder realizar mediciones de dosis de ruido en auriculares telefónicos usados en call centers, a través de la comparación de umbrales entre el auricular a medir y un auricular audiométrico cuya sensibilidad es conocida.

Este método se basa fuertemente en el concepto y en la definición de sensibilidad de un transductor acústico:

$$p_{A,T} = S_{A,T}(f) v_A \quad (3)$$

$$p_{T,T} = S_{T,T}(f) v_T \quad (4)$$

siendo $p_{A,T}$ y $p_{T,T}$ la presión sonora en el tímpano provocada por el auricular audiométrico y el auricular telefónico respectivamente (expresadas en Pascales [Pa]); $S_{A,T}(f)$ y $S_{T,T}(f)$ la sensibilidad relativa al tímpano del auricular audiométrico y telefónico, cuya unidad es [Pa/V]; y v_A , v_T la tensión aplicada en ambos casos (expresada en Volts [V]). Como la presión sonora (a una frecuencia determinada) en el umbral auditivo es independiente del transductor utilizado, en la condición de umbral se puede suponer que:

$$p_{A,T,U}(f_k) = p_{T,T,U}(f_k) \quad (5)$$

Incluso cuando esta hipótesis sea intrínsecamente razonable, en la práctica exige ciertos cuidados. A saber, es necesario, por ejemplo, evitar el aumento del umbral por enmascaramiento, peligro que se presenta en los auriculares que no cuentan con atenuación del ruido ambiente. Se puede entonces deducir a partir de las Ecuaciones (3), (4) y (5) que:

$$S_{T,T}(f_k) = \frac{v_{A,U}(f_k)}{v_{T,U}(f_k)} S_{A,T}(f_k) \quad (6)$$

Dado que los criterios de exposición no se refieren a la presión sonora en el tímpano, sino a la presión medida en ausencia del trabajador, es necesario convertir el campo de presión en el tímpano en un campo difuso equivalente. La norma ISO 11904-1 proporciona para estos fines, una tabulación de valores de corrección $\Delta L_{DF}(f_k)$ tal que se pueda obtener un nivel de presión sonora de campo difuso (DF) que provocaría un nivel dado en el tímpano según la expresión:

$$L_{DF}(f_k) = L_T(f_k) - \Delta L_{DF}(f_k) \quad (7)$$

Mediante esta expresión se puede relacionar análogamente las presiones sonoras en el tímpano y en campo difuso que provocan la misma sensación como:

$$p_{DF}(f_k) = 10^{-\frac{\Delta L_{DF}(f_k)}{20}} p_T(f_k) \quad (8)$$

Y combinando las Ecuaciones (6) y (8), se puede obtener la sensibilidad del auricular telefónico referida al campo difuso:

$$S_{T,DF}(f_k) = 10^{-\frac{\Delta L_{DF}(f_k)}{20}} \frac{v_{A,U}(f_k)}{v_{T,U}(f_k)} S_{A,T}(f_k) \quad (9)$$

De esta forma, solamente restaría saber la sensibilidad del auricular audiométrico referida al tímpano $S_{A,T}(f_k)$ y así poder obtener la presión sonora del auricular a evaluar conociendo su tensión de salida. Sin embargo, los fabricantes por lo general especifican la sensibilidad de los dispositivos con respecto a un acoplador normalizado y no al tímpano. Para convertir estos valores de sensibilidad referida a un acoplador $S_{A,C}(f_k)$ a la sensibilidad referida al tímpano $S_{A,T}(f_k)$, se utiliza el Anexo C de la norma ISO 389-8 [34] que da la diferencia de niveles de sensibilidad referida a campo libre y a un acoplador acústico:

$$G_F(f_k) - G_C(f_k) = 20 \log \frac{S_{A,FF}(f_k)}{S_{A,C}(f_k)} \quad (10)$$

Tanto $G_F(f_k) - G_C(f_k)$, como $S_{A,C}$ son valores que sí especifican los fabricantes. Con lo cual, despejando la sensibilidad referida a campo libre:

$$S_{A,FF}(f_k) = 10^{\frac{G_F(f_k) - G_C(f_k)}{20}} S_{A,C}(f_k) \quad (11)$$

La sensibilidad con respecto al acoplador normalizado también se puede expresar en función de la respuesta en frecuencia especificada por el fabricante (a una tensión rms de salida nominal determinada) como:

$$S_{A,C}(f_k) = \frac{p_{A,C}}{v_A} = 10^{\frac{L_{A,C}(f_k)}{20}} \frac{P_{ref}}{0,5 V} \quad (12)$$

En el caso particular del trabajo de Miyara se analizan las especificaciones del auricular audiométrico HDA 200, cuyo fabricante especifica una respuesta en frecuencia a una tensión nominal de salida de 0,5 V.

Luego, considerando que la norma ISO 11904-1 también posee valores tabulados para vincular los niveles de presión en campo libre y en el tímpano:

$$L_{FF}(f_k) = L_T(f_k) - \Delta L_{FF}(f_k) \quad (13)$$

Se deduce, por ende:

$$S_{A,T} = \frac{p_{A,T}}{v_A} = \frac{p_{A,FF}}{v_A} 10^{\frac{\Delta L_{FF}(f_k)}{20}} = S_{A,FF} 10^{\frac{\Delta L_{FF}(f_k)}{20}} \quad (14)$$

Finalmente, reemplazando la Ecuación (12) en la Ecuación (11) y el resultado en la Ecuación (14) y agrupando, se obtiene:

$$S_{A,T}(f_k) = \frac{P_{ref}}{0,5 V} 10^{\frac{G_F(f_k) - G_C(f_k) + \Delta L_{FF}(f_k) + L_{A,C}(f_k)}{20}} \quad (15)$$

Es decir, se obtiene la sensibilidad del auricular audiométrico referida al tímpano, a partir de los datos normalizados del auricular audiométrico HDA 200. Reemplazando la Ecuación (15) en la Ecuación (9), ahora, se puede obtener la expresión correspondiente a la sensibilidad del auricular telefónico, referida a un campo difuso:

$$S_{T,DF}(f_k) = \frac{P_{ref}}{0,5 V} 10^{\frac{G_F(f_k) - G_C(f_k) + \Delta L_{FF}(f_k) - \Delta L_{DF}(f_k) + L_{A,C}(f_k)}{20}} \frac{v_{A,U}(f_k)}{v_{T,U}(f_k)} \quad (16)$$

Se puede entonces calcular la presión sonora de un campo difuso equivalente al aplicar una tensión eficaz al auricular telefónico:

$$p_{T,DF}(f_k) = S_{T,DF}(f_k) v_T(f_k) \quad (17)$$

que, a su vez, permite obtener el nivel de presión sonora difuso equivalente al estímulo que provoca el auricular telefónico con una determinada tensión:

$$L_{pT,DF}(f_k) = G_F(f_k) - G_C(f_k) + \Delta L_{FF}(f_k) - \Delta L_{DF}(f_k) + L_{A,C}(f_k) + 20 \log \frac{v_{A,U}(f_k)}{v_{T,U}(f_k)} + 20 \log \frac{v_T(f_k)}{0,5 V} \quad (18)$$

Una vez desarrollado de forma teórica este método, es necesario concretarlo en la práctica a través de mediciones y calibraciones, para poder obtener los datos necesarios y conocer el nivel de presión de un auricular determinado. En la Figura 8 se puede observar el diagrama de conexionado utilizado tanto para la obtención de las tensiones de umbral, como para registrar la señal de origen y del sonido ambiente a través de un sonómetro.

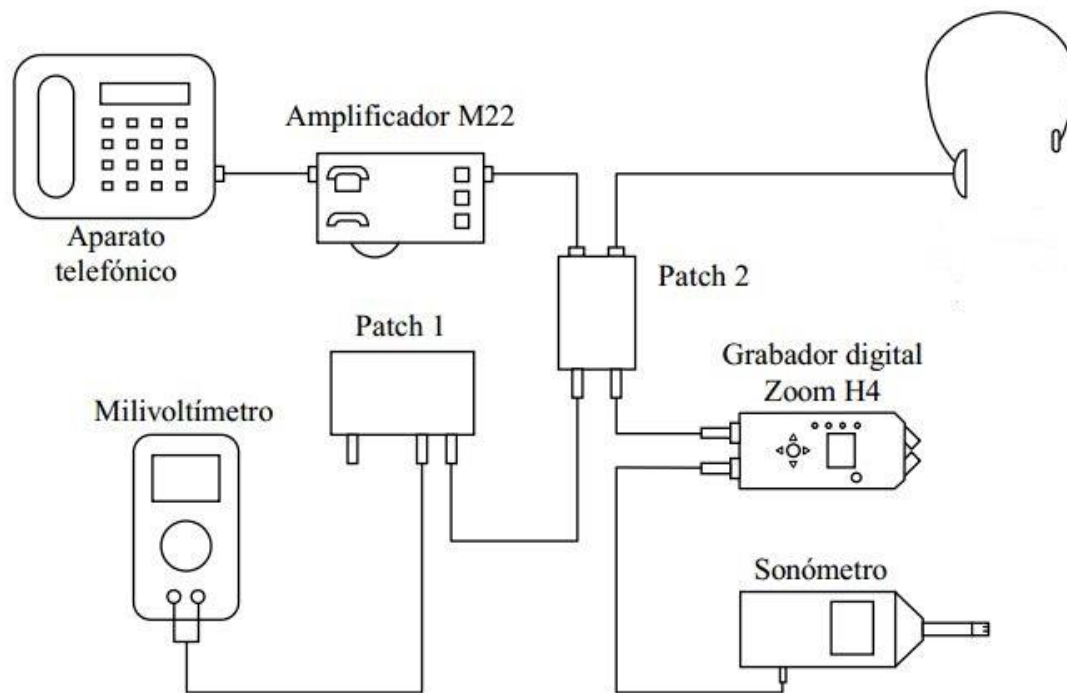


Figura 8. Diagrama del conexionado para obtención de las tensiones de umbral, grabación de la señal eléctrica suministrada y registración del sonido ambiente. Miyara et al. (2011) [33].

La señal obtenida digitalmente fue filtrada según la respuesta obtenida en la Ecuación (16) y un filtro de ponderación A, para que de esta manera represente una hipotética señal de campo difuso que provoque la misma sensación que la señal sonora percibida a través de los auriculares. El procedimiento fue validado entonces comparando el análisis de esta señal con los valores calculados mediante la Ecuación (18). Asimismo, se compararon los valores de sensibilidad proporcionados por el fabricante del auricular audiométrico, con los mismos valores obtenidos a través de mediciones utilizando un HATS y se encontraron algunas diferencias, producto de tolerancias no especificadas por el fabricante. Esto indica, que la precisión del método puede aumentar en los casos en donde se puedan realizar estas mediciones de sensibilidad específicas, o en los casos en donde se especifiquen con un mayor detalle las tolerancias en las especificaciones de fábrica del auricular de referencia. Estas diferencias se pueden observar en la Figura 9, siendo L_{pk} la curva obtenida mediante mediciones en el HATS y L_{pt} la curva calculada a partir de los datos del fabricante.

Otra debilidad particular que posee este método consiste en la gran dispersión que presentan los resultados de medición de umbral auditivo. Además de las dificultades ya mencionadas por el aumento del umbral debido a las diferencias de atenuación entre auriculares, se debe considerar el efecto de los mismos sobre el ruido biológico. Según Rudmose [35] a baja frecuencia, los auriculares circumaurales presentan un umbral (medido en tímpano a través de la técnica MIRE o *Microphone In Real Ear*) unos 6 dB por encima que en situación de campo libre. En la Figura 10 se puede observar los valores de las tensiones de salida a nivel de presión umbral obtenidos por Miyara. Como se puede apreciar, el desvío estándar es elevado, del orden de los 6 dB; cabe destacar que se analizaron los umbrales de únicamente 6 personas y que el desvío se podría haber reducido de haber contado con un mayor número de sujetos a disposición.

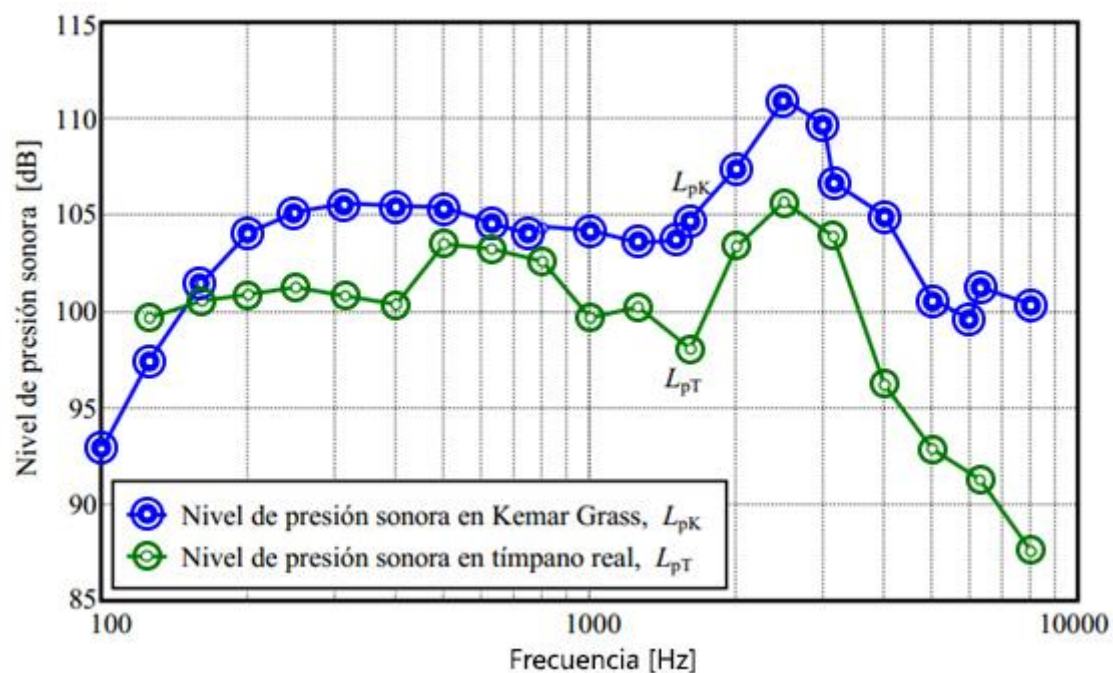


Figura 9. Comparación entre la respuesta del auricular HDA 200 medida en HATS y la respuesta calculada en tímpano a partir de los datos especificados. Miyara et al. (2011) [33].

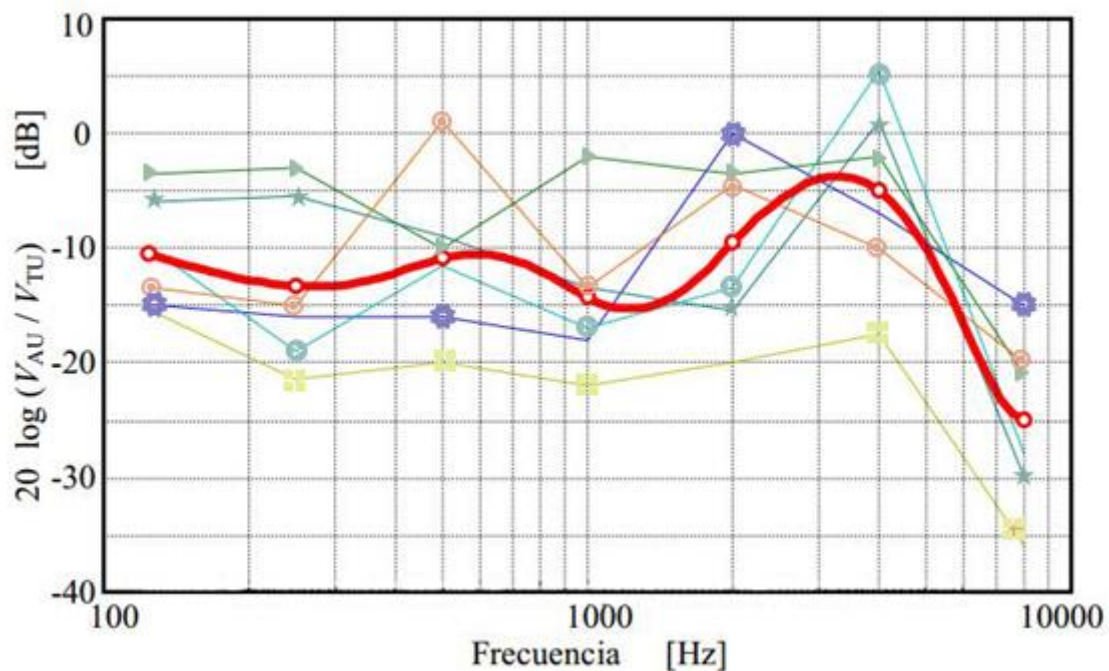


Figura 10. Curvas de $20 \log (V_{AU}/V_{TU})$ obtenidas para seis sujetos normoyentes sobre el umbral de audición. Miyara et al. (2011) [33].

Esta metodología desarrollada por Miyara et al. y que apunta específicamente a ambientes laborales que requieren el uso de auriculares, es útil en la medida en que no precisa equipamiento costoso y, a pesar de no ser del todo robusta, si la exposición determinada por este procedimiento sumada a la incertidumbre en la medición no alcanza los límites legales de dosis de ruido, puede tomarse como parámetro de seguridad en lo que a exposición sonora se refiere. Por otra parte, su precisión es factible de mejora aumentando la cantidad de sujetos utilizados para la obtención de los valores a nivel de umbral y reduciendo el ruido ambiente para evitar las variaciones entre auriculares. El hecho de que este método requiera una medición previa y calibrada mediante un auricular audiométrico y que se requiera de un milivoltímetro para medir la tensión de salida del auricular en cuestión, logran reducir el costo de la medición en comparación a otros métodos como el uso de dosímetros, pero se sigue requiriendo de dispositivos externos para llevarla a cabo.

En sintonía con este método, existen actualmente varios dispositivos patentados, que trabajan de forma similar en algunos casos y también mediante herramientas externas que logran alcanzar niveles determinados de precisión en la obtención de valores de dosis. Por ejemplo, existe un dispositivo ya patentado (patente Nº US 9,055,363 B2) [36] que integra un micrófono in-ear y una unidad de procesamiento y el mismo puede ser acoplado

a un auricular para su medición, o ser usado directamente para medir los niveles percibidos dentro del oído. El mismo se puede observar en la Figura 11. Este dispositivo se puede acoplar tanto físicamente como eléctricamente a un auricular y de esta forma ser alimentado por la misma tensión sin necesidad de una fuente de alimentación externa.

La unidad de procesamiento con la que cuenta tiene la capacidad de compensar y realizar las correcciones correspondientes a una medición de nivel sonoro en campo libre, ajustando según la respuesta en frecuencia del oído como establecen las normas de este tipo de mediciones, previamente mencionadas. La forma de colocación del mismo se puede observar en la Figura 12. Como se puede apreciar, el micrófono interno se puede conectar a la unidad de procesamiento mediante un cable, dejando su armazón oculta detrás de la oreja (BTE o *behind-the-ear solution*), o conectado de forma inalámbrica a través de Bluetooth o DECT. Al conectarse de ésta última manera, se pueden almacenar los datos obtenidos por varios dispositivos en simultáneo desde un punto de trabajo centralizado, en el caso de que se quiera, por ejemplo, monitorear la dosis de varios empleados al mismo tiempo en un determinado lugar.

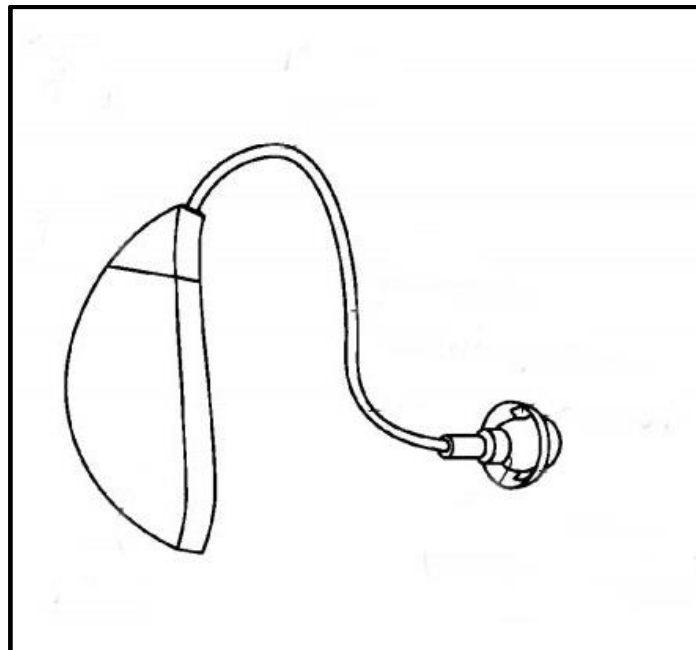


Figura 11. Dosímetro según Patente N° US 9,055,363 B2 [36].

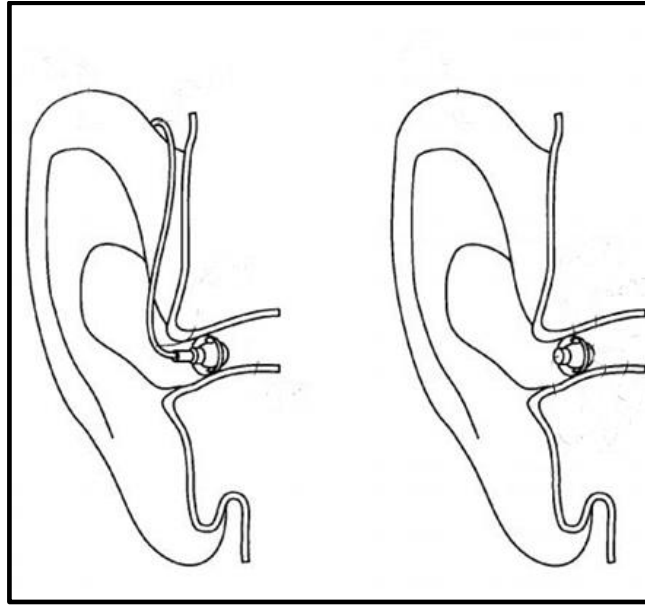


Figura 12. Colocación del dispositivo dentro del oído. Patente N° US 9,055,363 B2 [36].

El micrófono, a pesar de que debe ser insertado dentro del canal auditivo, posee un armazón que se puede elaborar a partir de un material flexible e hipoalergénico como la silicona y su configuración en anillo con cavidades huecas permite el paso de la onda sonora incidente, de forma tal que no constituya un obstáculo a la señal auditiva que está ingresando al oído (ver Figura 13). El usuario, por lo tanto, puede utilizarlo sin desprestigiar la funcionalidad de los auriculares tradicionales y sin la necesidad de aumentar el nivel sonoro para contrarrestar el efecto de inserción o *Insertion Loss* (IL) del micrófono.

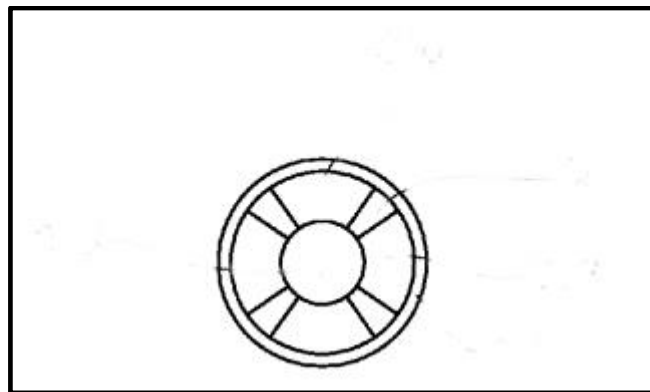


Figura 13. Vista en corte del micrófono de medición. Patente N° US 9,055,363 B2 [36].

En la Figura 14, se puede observar el dispositivo acoplado a un auricular del tipo “headset”, con un micrófono para la captación de la voz, muy frecuentemente utilizados para la comunicación, videollamadas, etc. Como se puede apreciar, se pueden acoplar fácilmente y una vez superada la dosis diaria permitida, el dispositivo puede enviar una

alerta de forma sonora a través del transductor del auricular, o de forma visual, incorporando un LED a la vara del micrófono del headset. De esta forma, el usuario podría tomar noción del exceso de nivel sonoro al que está expuesto e intentar disminuirlo. Además, se puede establecer que al superar los niveles permitidos, sea el mismo auricular (mediante el acoplamiento eléctrico) el que disminuya el nivel de forma activa. El acoplamiento mecánico/eléctrico disponible permite que el dispositivo se puede reutilizar en una gran cantidad de auriculares distintos por lo tanto. No se considera el efecto de la diadema ya que el mismo es despreciable.

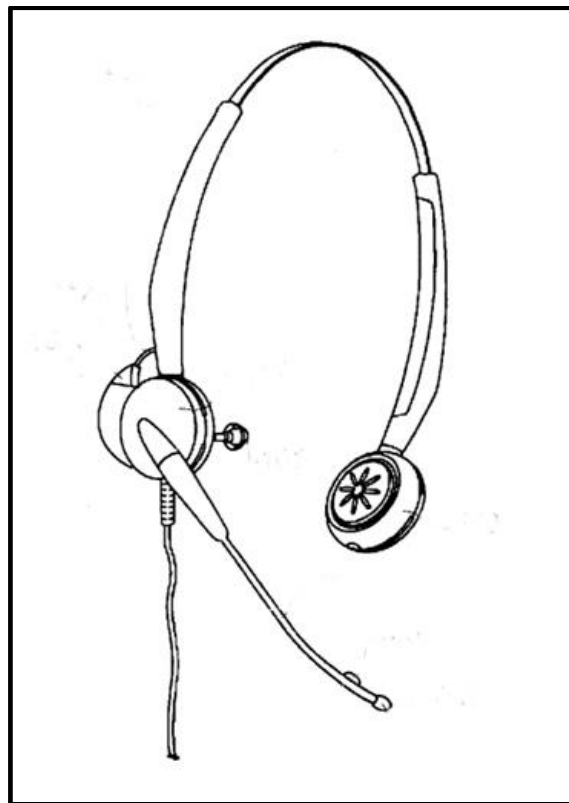


Figura 14. Dosímetro incorporado a un auricular del tipo “headset”. Patente Nº US 9,055,363 B2 [36].

Sin embargo, este dispositivo no es el único en realizar cálculos y obtención de dosis. Otro ejemplo interesante a destacar, es el caso del método correspondiente a la patente US 9,167,339 B2. [37] Esta patente, provee un dispositivo similar al anterior (es decir, un micrófono que se acopla a un auricular y realiza los cálculos a través de una unidad de procesamiento externa), pero con una diferencia a la hora de procesar y obtener la información del daño auditivo. Esta patente describe un algoritmo representado a través de un diagrama de flujo (Figura 15) que permite llevar a cabo los cálculos dentro de la

unidad de procesamiento. Este algoritmo consiste básicamente en obtener la señal de audio, determinar el nivel de presión sonora y en primer lugar compararlo con el valor instantáneo máximo de NPS permitido (85 dBA por ejemplo). Si se excede este nivel instantáneo, se estará frente a un determinado nivel de daño auditivo. De no ser así y el nivel NPS instantáneo sea menor, se integra este valor en el tiempo, se computará su nivel de daño y se comparará frente a un umbral de daño auditivo calculado. Finalmente, en el caso de que se exceda este umbral, se llevarán a cabo correcciones del nivel de entrada mediante reglas de corrección diversas.

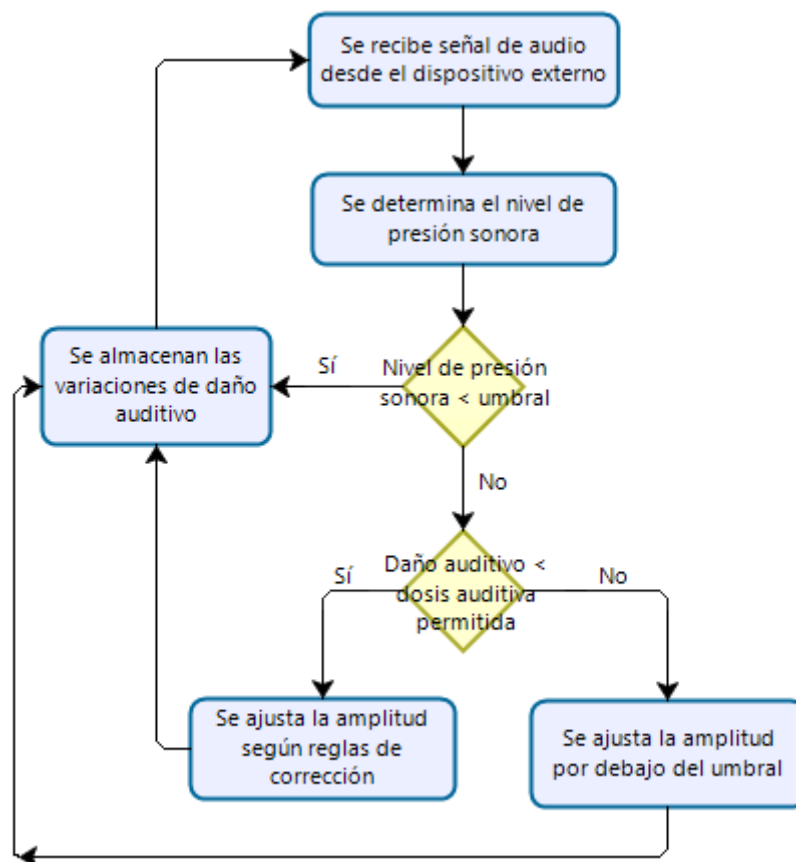


Figura 15. Diagrama de flujo de un sistema de reducción de niveles a partir de cálculo de daño auditivo. Patente US 9,167,339 B2 [37].

El nivel de daño se calculará entonces, segundo a segundo, acorde a los niveles de entrada y el umbral de daño auditivo consistirá en la representación numérica de la cantidad de daño auditivo que puede recibir el oído antes de que el daño sea permanente (debido al desplazamiento de umbral auditivo). Se tiene en cuenta también, el hecho de que el oído naturalmente puede fatigarse y recuperarse de esa misma fatiga auditiva a lo

largo del tiempo. Esta condición influirá en el nivel de daño, es decir, que se restará al cálculo del daño esperado, el nivel de regeneración del oído. Para lograr esto se determinará un umbral de regeneración, por debajo del cual se supondrá que el oído deja de fatigarse y comienza a regenerar su capacidad de admitir niveles sonoros. Tanto la tasa de daño como de regeneración se calcularán instante a instante, dependerán del nivel de entrada y determinarán el daño auditivo final.

El daño auditivo se medirá a través de un contador que, dependiendo de la tasa de daño y de regeneración, sumará/restará valores acumulados y de esta forma se modelizará el comportamiento de detrimento de la audición ante estímulos sonoros. Una vez superados los niveles de daño permitidos, se procederá a ejecutar reglas de corrección selectivas, orientadas a disminuir los niveles de entrada. Estas reglas de corrección son diversas y se pueden activar una vez pasado el umbral de daño, o en la medida que los niveles se encuentran próximos al mismo. Las mismas van desde, reducir drásticamente el nivel de entrada e impedir que se eleve por encima del umbral de regeneración hasta tanto el daño auditivo no disminuya, hasta disminuir los niveles de entrada en forma lineal/no lineal y/o gradual según distintas curvas de atenuación. De esta forma se logra optimizar la cantidad de tiempo de escucha sin perjuicio de presentar niveles de dosis de ruido elevados. Cabe destacar que este procesamiento se puede obtener tanto a través de un circuito analógico como a través de uno digital (Ver Figuras 16).

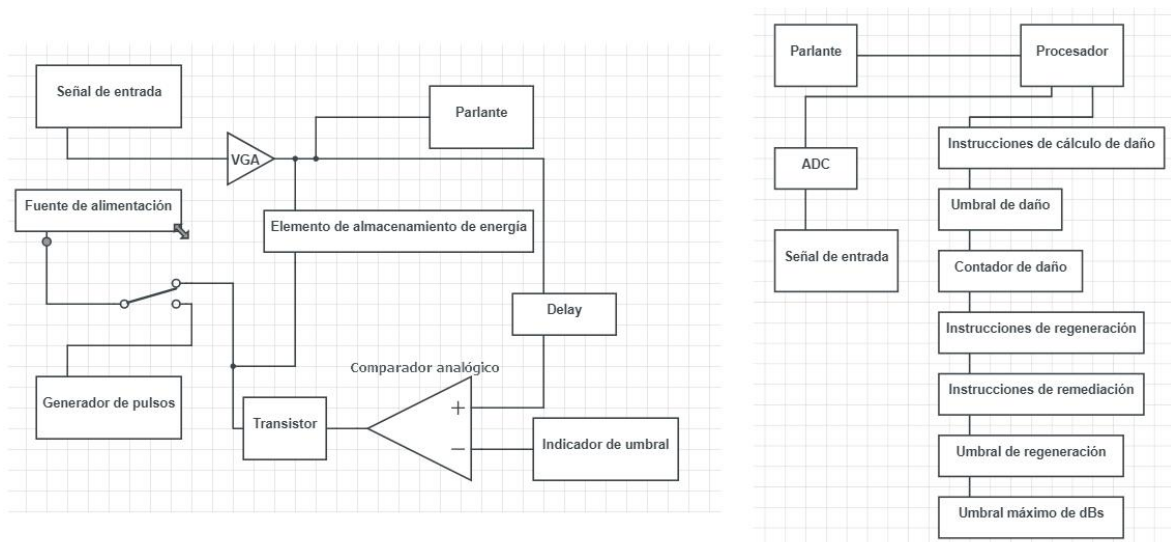


Figura 16. Implementación analógica/digital del método de procesamiento de la Patente US

9,167,339 B2 [37].

En resumen, los tres métodos alternativos presentados de cálculo de dosis de ruido (Miyara y ambas patentes) si bien poseen la cualidad de ser más económicos que el uso de un dosímetro, todos poseen una misma característica en común y es que son dependientes de equipamiento externo lo cual puede llegar a disuadir su uso (si se retoman los conceptos enarbolados por la PMT por ejemplo), su practicidad y eficacia.

2.5 Sonoridad

A los efectos de esta investigación, es crucial ahondar sobre la base de un concepto que, si bien no se encuentra del todo difundido, tiene incidencia en la inmisión sonora y permite comprender los mecanismos que hacen al nivel de escucha percibido dentro de la cadena de audio, que va desde la generación de un archivo de música digital hasta los mecanismos de procesamiento dentro del oído.

Existe actualmente una gran dispersión en el nivel percibido tanto de CDs, como de archivos de música digitales, tales como MP3, WAV, FLAC, etc. (independientemente del transductor que se utilice en la reproducción). Diversos factores se combinan para que esto suceda: si bien los matices musicales y conceptos creativos del autor requieren que algunas canciones dentro de un disco suenen más fuerte que otras, también tiene mucho que ver la época en la que el audio fue grabado/mezclado ya que a lo largo del tiempo han cambiado las técnicas de producción aplicadas a los discos. Si a esto se le agrega las inconsistencias en la calidad de la codificación del formato MP3 (por citar uno de los más populares), el resultado es que generalmente al crear listas de reproducción musicales extensas y heterogéneas, el usuario deba estar ajustando el nivel a lo largo de los sucesivos temas, para compensar estas variaciones poco controlables. Una solución simple a esto sería poder almacenar dentro de cada pista la variación de nivel necesaria para confluir los niveles de todas las pistas a un valor determinado, es decir, emular este comportamiento de ajuste que realiza el usuario y poder automatizarlo.

Hoy en día, gracias al concepto de “metadata” (es decir, datos sobre los datos), es posible escribir dentro de una pista digital información como el título de la canción, el nombre del artista, el año de edición, etc utilizando el estándar ID3. Con la posterior aparición del estándar ID3v2 [38], finalmente se agregó la posibilidad de almacenar numéricamente el ajuste de nivel relativo entre pistas, que se puede utilizar para normalizar las mismas. No obstante y dada esta posibilidad, el desafío consistía en definir

un método estandarizado que sea consistente y repetible, de lograr definir esta ganancia relativa y que sea compatible con todos los métodos de codificación y reproducción de MP3. Es así como en el año 2002, surge un estándar denominado *ReplayGain* [39], desarrollado por David Robinson y que intentó darle una solución constructiva a esta problemática. El estándar de *ReplayGain* propone una forma simple de calcular y representar la ganancia relativa ideal, tanto a nivel de comparación entre pistas, como a nivel de comparación entre álbumes completos.

La sonoridad o *Loudness* (que no es más que la representación subjetiva del nivel de presión sonora), como se mencionó anteriormente depende de varios factores: de la información digital almacenada, de la posición del control de nivel sonoro del dispositivo de reproducción, de las características intrínsecas de este dispositivo, así como del parlante utilizado y del mismo individuo en sí. Todos estos factores configuran una cadena, con un nivel de ganancia general que representa a todo el sistema. Se considera que el factor dentro de esta cadena correspondiente al individuo es de los más predecibles ya que estadísticamente se puede verificar que los niveles preferidos por una determinada cantidad de sujetos son consistentes y no varían demasiado entre individuos. Sorprendentemente, el factor menos predecible dentro de la cadena de audio viene dado por la información digital de audio [39]. En 1933 Fletcher y Munson [40], llevaron a cabo mediciones en una gran cantidad de sujetos y trazaron lo que se conoce como “curvas isofónicas” o “curvas de igual sonoridad”. Estas curvas se obtuvieron comparando subjetivamente tonos de distintas frecuencias a distintos niveles de presión sonora y constituyen una demostración del carácter alinear de la escucha: un tono de 500 Hz a 55 dB SPL se percibe subjetivamente igual de intenso que uno de 1 kHz a 60 dB SPL. El algoritmo de *ReplayGain*, en su búsqueda de la normalización de la sonoridad tiene en cuenta este comportamiento alinear del sistema auditivo y es por eso que debe compensar la respuesta en frecuencia del oído mediante un filtro inverso que anule su influencia. Sin embargo, como se puede apreciar en las curvas isofónicas (Figura 17), la respuesta del oído es distinta a medida que varía el nivel, aplanándose la curva en tanto aumenta el mismo. Sería muy costoso computacionalmente y complejo utilizar un filtro distinto según la amplitud del audio a analizar, con lo cual a efectos del diseño del algoritmo se toma un promedio de las curvas isofónicas como respuesta en frecuencia del filtro utilizado. Esta curva se puede observar en la Figura 18.

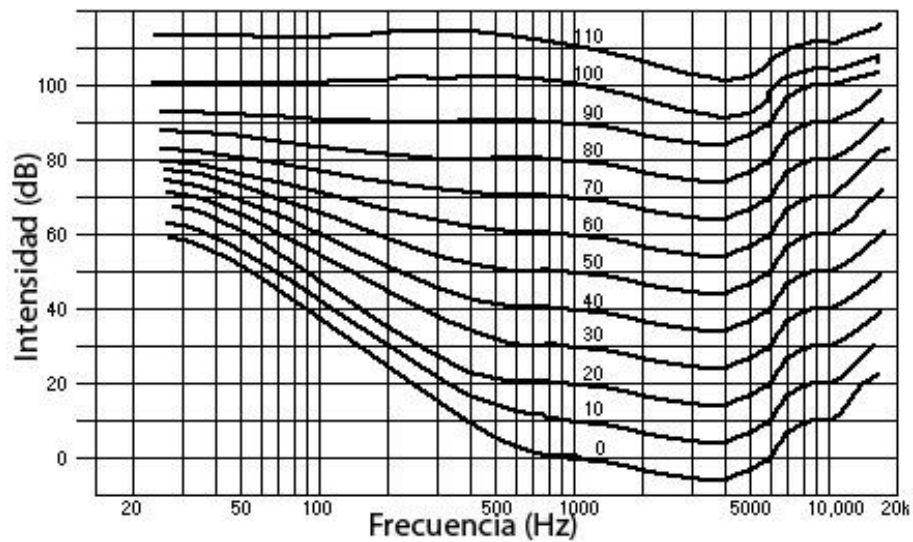


Figura 17. Curvas isofónicas de Fletcher y Munson.

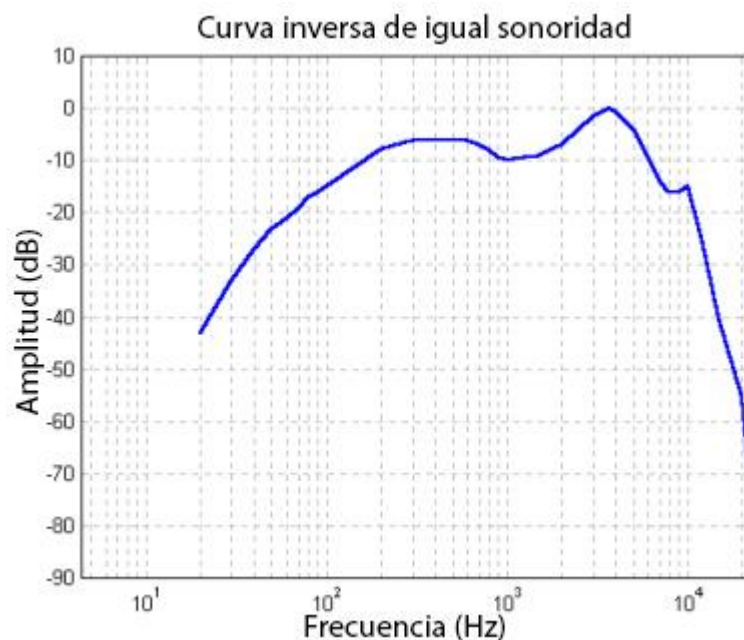


Figura 18. Filtro inverso promedio de las curvas isofónicas. David Robinson (2002) [39].

El desafío consiste entonces en lograr desarrollar este filtro de alguna forma. Una buena aproximación a la respuesta en frecuencia del oído viene dada por la curva de ponderación “A”. Como se ve en la Figura 19, esta curva constituye solamente una aproximación, pero no es suficiente para lograr una representación precisa: a 15 kHz por ejemplo esta curva se diferencia en 30 dB aproximadamente de la curva de escucha real. Las curvas de ponderación “B” y “C” se alejan todavía más del comportamiento indicado. Al no ser apropiada ninguna de estas curvas al propósito de modelar la respuesta del oído, se debe implementar un filtro personalizado.

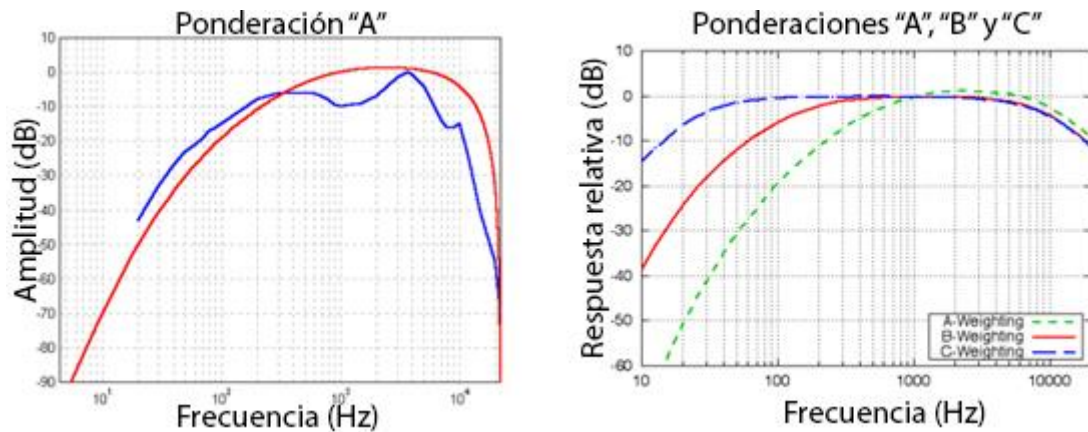


Figura 19. Curva de ponderación "A", "B" y "C" en relación a la respuesta en frecuencia del oído.

David Robinson (2002) [39].

Se diseña entonces un filtro IIR (de Respuesta Infinita al Impulso) de topología "Yulewalk" de 10 coeficientes (ver Figura 20). Este filtro constituye una correcta aproximación al objetivo en el rango de alta frecuencia, pero es inadecuado en baja frecuencia, incluso aumentando todavía más la cantidad de coeficientes. La solución entonces, consiste en poner en cascada este último filtro con un filtro pasaaltos *Butterworth* de segundo orden, cuya frecuencia de corte se localiza en 150 Hz. De esta forma, la respuesta combinada de ambos filtros sí representa una buena aproximación y es el filtro que actualmente es utilizado por el algoritmo de *ReplayGain*.

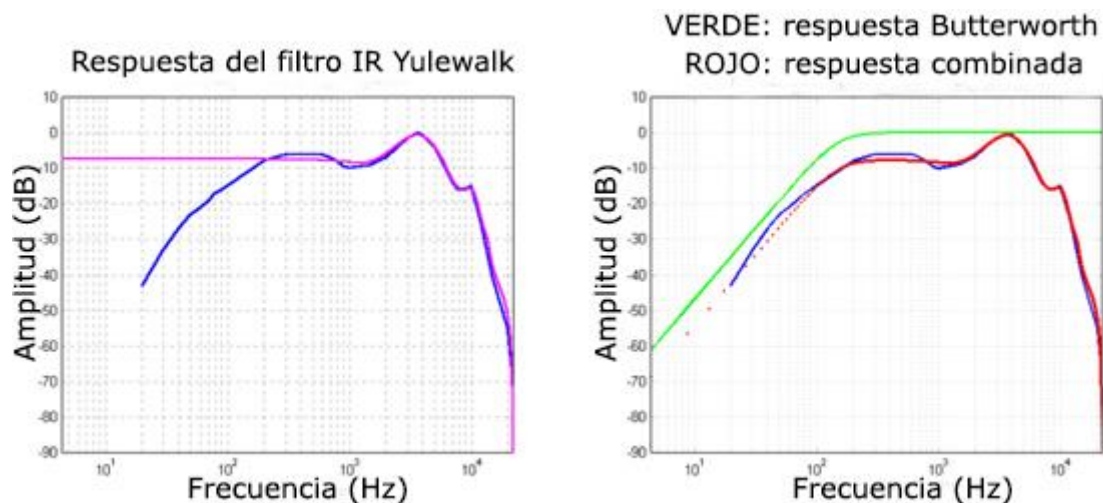


Figura 20. Filtro IIR del tipo "Yulewalk" (izquierda). Respuesta combinada de un filtro "Yulewalk" con un filtro pasaaltos "Butterworth" de segundo orden (derecha). David Robinson (2002) [39].

El cálculo del valor eficaz (RMS) de una señal de audio es una tarea muy trivial que cualquier software puede realizar de forma fácil. Sin embargo, esta información no se corresponde necesariamente con la sonoridad percibida, si bien es un indicador más aproximado que el cálculo del valor pico de la señal. Por lo tanto, el algoritmo de *ReplayGain* calcula el valor eficaz de la señal instante a instante y procesa esta información para obtener un valor representativo de la sonoridad percibida finalmente. La señal de audio es dividida en bloques y se calcula el valor RMS de cada bloque por separado. La longitud óptima de cada bloque se establece en 50 ms luego de analizar el efecto de la variación de esta ventana temporal entre 25 ms y 1 s: se determinó que 25 ms es un tiempo muy corto para reflejar de forma efectiva la sonoridad percibida de algunos estímulos sonoros y que, más allá de 50 ms no hay un impacto significativo en la precisión obtenida. Asimismo, se puede aprovechar y utilizar el período de ventaneo temporal del formato MP3 (es de 52 ms) sin afectar el procesamiento y los cálculos de forma relevante.

Una vez calculado el valor RMS de la señal por cada 50 ms o bloque de datos, se debe encontrar un único valor que represente la sonoridad percibida de toda la porción de audio. En la Figura 21, se pueden observar 3 histogramas distintos (correspondientes a 3 audios distintos) que muestran cuántas veces hubo ocurrencias de cada valor de RMS a lo largo de las muestras.

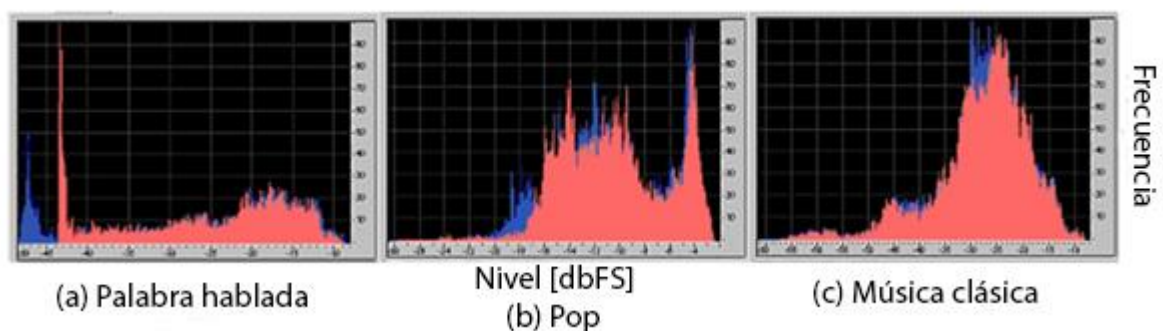


Figura 21. Histograma de los valores RMS correspondientes a 3 muestras distintas. David Robinson (2002) [39].

El valor RMS más frecuente en el caso de la señal de palabra hablada fue de -45 dB (correspondiente al ruido de fondo), con lo cual este valor no constituye un buen indicador de la sonoridad percibida. El valor RMS promedio, tanto en el caso de palabra hablada como en el de música clásica tampoco resulta representativo de toda la muestra. Una posibilidad es la de determinar la sonoridad general ordenando numéricamente la energía RMS, para

luego tomar un valor cercano al máximo. Esta sugerencia es análoga a la publicada por Zwicker en 1991 al realizar investigaciones sobre sonoridad [41].

Según Zwicker, las comparaciones de sonoridad entre varios sujetos indican que la sonoridad promedio, correspondiente al percentil L_{50} (la sonoridad cuyo valor es excedido el 50 % del tiempo) no es adecuada, mientras que los percentiles que se encuentran entre L_5 y L_{10} sí corresponden a valores que se adecúan mejor a lo que los individuos realmente perciben. Para el desarrollo de *ReplayGain*, la elección correcta de este percentil es uno de los aspectos más críticos que hace a su funcionamiento y precisión. Percentiles entre 70 % y 95 % fueron probados utilizando una gran variedad de material de audio. En el caso de la música pop altamente comprimida (por ejemplo, la muestra que se puede observar en la Figura 21 (b)), donde hay gran cantidad de valores cercanos al valor máximo, la elección del percentil no es particularmente determinante. Sin embargo, sí lo es en el caso de la palabra hablada, la música clásica y otros géneros no tan tradicionales. Se determinó entonces, de forma empírica [39] (según consta en el trabajo de D. Robinson, autor de *ReplayGain*), que el valor que más se asemeja a la percepción auditiva humana se corresponde con el percentil 95 %, con lo cual es utilizado para el cálculo dentro del algoritmo de *ReplayGain*.

Es necesario, luego, referenciar la energía RMS a un valor de presión sonora real. La industria del audio actualmente no posee un estándar para referenciar estas magnitudes, pero sin embargo, la industria del cine ha trabajado durante varios años con un estándar llamado SMPTE RP 2000 [42]. Este estándar establece que un canal mono alimentado con una señal de ruido rosa, con un valor RMS de -20 dBFS (también denominados *dB relative to Full Scale*) debe ser reproducido a 83 dB SPL (medido utilizando un decibelímetro con ponderación C en frecuencia y ponderación de tiempo *Slow* a una distancia de 1 m).

El objetivo de esto es que cada sala de cine pueda establecer un control de nivel sobre la base de una ganancia conocida y calibrada y que los largometrajes puedan ser mezclados para obtener resultados óptimos al ser reproducidos a este nivel ya dado. Este valor de 83 dB SPL tiene su razón de ser y no fue escogido al azar. Fue elegido principalmente ya que representa un nivel de escucha confortable a nivel subjetivo para la escucha [39]. El nivel de referencia de -20 dBFS fue determinado ya que permite una distancia de 20 dB (denominado "*headroom*") hasta el nivel de recorte (0 dBFS, a partir de este nivel la señal digital se recorta e introduce distorsión). Si la industria del audio se basara en este estándar,

la escucha de álbumes musicales sería una experiencia mucho más enriquecedora ya que se ampliaría el rango dinámico, disminuiría la cantidad de compresión aplicada y tendrían un mayor impacto sonoro los álbumes [39]. Esta iniciativa fue propuesta en el año 2000 por Katz [43], pero al día de hoy no ha ganado peso y aceptación dentro de los círculos de producción discográfica.

La adopción de una ganancia única de referencia de monitoreo posibilitaría además que todos los álbumes estén unificados en ganancia y que se evite el tener que modificar los niveles entre álbumes distintos debido a las diferencias en el nivel final de la mezcla. El algoritmo de *ReplayGain* busca, de forma análoga calcular qué tan fuerte/bajo suena un álbum/tema en comparación a un álbum/tema mezclado a la ganancia calibrada de referencia según SMPTE RP 2000 y ajustar el nivel en consecuencia. Este proceso involucra realizar algunas suposiciones pero es capaz de lograr resultados efectivos. Se asume entonces que la sonoridad percibida será la que represente un valor SPL de 83 dB, a un valor RMS dado de -20 dBFS. Se buscará entonces obtener para cada pista/álbum un valor RMS promedio de -20 dBFS. Para esto, en primer lugar, se deberá procesar una señal de ruido rosa de referencia y almacenar su resultado ("ref_Vrms"). Luego, se procesará cada pista/álbum y la diferencia entre "ref_Vrms" y el valor RMS obtenido permitirá definir de qué forma escalar la señal para alcanzar 83 dB SPL (es decir, la sonoridad de referencia). Al realizar este ajuste, todas las pistas/álbumes se reproducirán a la misma sonoridad que el ruido rosa de referencia.

Existe, sin embargo, una diferencia entre la calibración SMPTE y la calibración de *ReplayGain* y es que el sistema SMPTE utiliza un canal monoaural de ruido rosa reproducido a través de un único parlante, mientras que *ReplayGain* (al ser utilizado en música) requiere ser reproducido a través de dos parlantes. Por lo tanto, si bien la señal de referencia puede ser monoaural, *ReplayGain* debe ser calibrado contra la sonoridad aportada por esa señal reproducida en dos parlantes y es esta misma sonoridad la que debe ser empatada por los niveles de salida de la música a reproducir una vez procesada por el algoritmo.

En la práctica, al utilizar *ReplayGain* puede suceder (en los casos que se quiera normalizar audio altamente comprimido, o material de rango dinámico muy distinto entre sí) que el promedio normalizado quede por debajo de los niveles de escucha óptimos (ya que en la práctica la calibración es relativa, a menos que el sistema de reproducción esté calibrado según SMPTE 2000) y que se hayan reducido fuertemente los niveles. Para

compensar esto, *ReplayGain* ofrece una opción llamada "PreAmp" (ver Figura 22) que permite un aumento o disminución de determinada cantidad de dBs, para adaptar la escucha de forma preferencial. Esta configuración debe ser modificada con criterio, ya que si se decide aumentar el nivel del PreAmp, la señal puede llegar a alcanzar los niveles de recorte digital (0 dBFS). En estos casos, *ReplayGain* permite dos opciones, la primera, que consiste en aplicar compresión/limitación al audio para evitar que los picos de señal producto del PreAmp alcancen el nivel de recorte (a expensas de algo de distorsión tal vez y menor rango dinámico) o la segunda opción, que permite que adaptar el valor del PreAmp hasta evitar el recorte (a expensas de una menor sonoridad final).

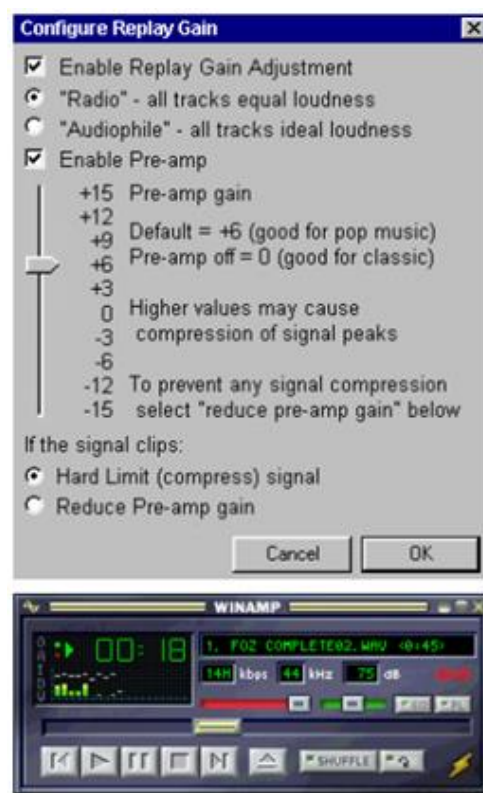


Figura 22. Implementación de *ReplayGain* en el reproductor multimedia Winamp.

Se pueden seleccionar dos modos principales de normalización; a nivel de pista: Radio *ReplayGain*, es decir todas las pistas se reproducirán a la misma sonoridad, o a nivel de álbum: Audiophile *ReplayGain*, es decir se obtendrán los promedios RMS por álbum y se ajustará cada álbum a la sonoridad de referencia; podrá haber diferencias de sonoridad entre diversas pistas de un álbum para respetar la dinámica general pretendida por el artista, pero cada álbum se reproducirá con la misma sonoridad general. Todas estas son

las características que definen este método de normalización de sonoridad que resulta uno de los más efectivos, populares y tecnológicamente implementados en la actualidad.

2.6 Norma ITU-R BS.1770-4

Es necesario remarcar que, si bien ReplayGain constituye un efectivo método de normalizar sonoridad para diversas muestras de audio, existe otro método desarrollado dentro de la norma ITU-R BS.1770-4 el cual es útil a la hora de realizar análisis de sonoridad, si bien su alcance no implica necesariamente que se pueda utilizar para normalizar muestras de audio. Este método consiste en varias etapas y se puede ver el diagrama en bloques del mismo en la Figura 23.

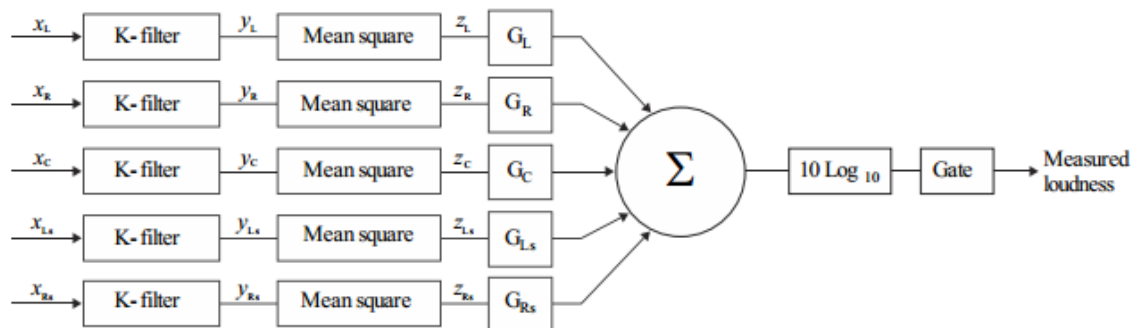


Figura 23. Diagrama en bloques del algoritmo de ITU-R BS.1770-4.

El primer paso consiste en realizar un filtrado en dos etapas de la señal de entrada. La primera etapa del filtrado se realiza para tener en cuenta el efecto acústico de la cabeza, modelada como una esfera rígida. La respuesta de este filtro se puede observar en la Figura 24.

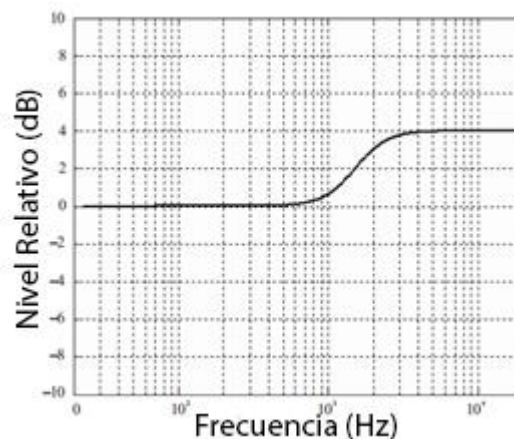


Figura 24. Respuesta en frecuencia de la primera etapa de filtrado aplicada para el algoritmo de ITU-R BS.1770-4 [50].

La segunda etapa de filtrado consiste en un simple filtro pasa altos, como se puede observar en la Figura 25.

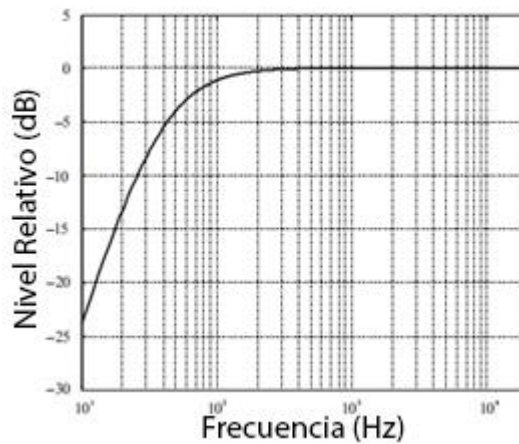


Figura 25. Respuesta en frecuencia de la segunda etapa de filtrado aplicada para el algoritmo de ITU-R BS.1770-4 [50].

Una vez aplicado el filtrado previo, se calcula el valor eficaz de la señal (z_i) dado por la Ecuación:

$$z_i = \frac{1}{T} \int_0^T y_i^2 dt \quad (19)$$

Siendo T el intervalo de medición e y_i el valor de la señal una vez aplicado el filtrado.

Finalmente se define la sonoridad sobre el intervalo T como:

$$L_K = -0,691 + 10 \log_{10} \sum_i G_i \cdot z_i \quad (20)$$

Siendo G_i los coeficientes de ponderación para cada canal de entrada. Los mismos se calculan a través de la siguiente tabla:

Tabla 3. Coeficientes de ponderación para los distintos tipos de canales de entrada. ITU-R BS.1770-4 [50].

Canal	Ponderación G_i
Izquierdo (G_L)	1,0 (0 dB)
Derecho (G_R)	1,0 (0 dB)
Centro (G_C)	1,0 (0 dB)
Izquierdo Surround (G_{LS})	1,41 (~+1,5 dB)
Derecho Surround (G_{RS})	1,41 (~+1,5 dB)

De esta forma, se puede realizar un análisis de sonoridad para una muestra dada durante un intervalo de medición determinado. Este algoritmo es utilizado por diversos softwares de análisis de sonoridad y es de vital importancia para conocer los métodos actuales de obtención de la sonoridad.

3. Metodología y Diseño experimental

3.1 Aspectos generales

La presente investigación propone el desarrollo de un método novedoso de obtención de dosis de ruido en tiempo real, de bajo costo y que no requiera de herramientas externas salvo un teléfono celular. Estas condiciones principalmente estarán dadas por la forma en que se realice la reproducción del audio en el teléfono, desde la fuente de audio, hasta el tipo de auricular y el sistema auditivo del receptor. El concepto sobre el que se basa este método está íntimamente relacionado con la forma en que pueden variar los niveles/ganancias dentro de un sistema de reproducción dado por: archivo de audio > software de reproducción > control digital de nivel sonoro del teléfono > amplificador de salida > auricular > individuo.

Durante la reproducción, si bien cada etapa aporta una ganancia determinada, el usuario hace únicamente del botón lateral de su teléfono para ajustar su nivel de preferencia, siendo este botón el que domina la ganancia de salida digital antes que la señal ingrese a los conversores D/A (digital/analógico). Una vez convertida en analógica la señal, mediante el transductor del auricular la energía eléctrica se convierte en presión sonora y es interpretada por el sistema auditivo del sujeto. La cantidad de presión sonora es dependiente de la sensibilidad del transductor, es decir, de qué forma las variaciones de tensión se traducen en variaciones de presión. Por lo tanto, si para un auricular dado (o para un conjunto de auriculares de similar sensibilidad) se puede asegurar que a una determinada ganancia de salida digital (la cual el usuario configurará) se conoce el nivel de presión, se podrá calcular durante ese instante la dosis de ruido percibida; de forma análoga, conociendo la presión para cada uno de estos niveles, se podrá calcular de forma dinámica a medida que el usuario modifique el nivel del dispositivo.

Esto requiere, por ende, que la ganancia de la fuente de audio se mantenga constante independientemente de la muestra que se reproduzca, es decir, se deberá aplicar algún tipo de mecanismo de igualación de sonoridad al audio. Por otro lado, las diferencias dadas

por la forma en que el ser humano fisiológicamente interpreta y capta el sonido fueron contempladas por las normas ISO utilizadas durante las mediciones a realizar. Estas mediciones tuvieron el objetivo de básicamente caracterizar el nivel sonoro de salida de distintos auriculares, para poder generar una calibración que luego sea ingresada dentro del software a desarrollar, el cual integrará los valores y calculará la dosis de ruido instantánea.

3.2 Elección del algoritmo de normalización de sonoridad

A efectos de esta investigación, como se mencionó anteriormente, fue crucial lograr que indistintamente de la señal que se reproduzca, el nivel de salida sea el mismo. Para conseguir esto fue necesario aplicar un proceso de normalización de sonoridad o *Loudness*. Uno de los algoritmos de normalización actualmente más difundidos se trata de *ReplayGain*, si bien no es el único existente. Para poder investigar la efectividad de normalización de este tipo de procesos, se procedió a realizar una simple medición de muestras de diversa sonoridad, para así cuantificar las diferencias que se pueden encontrar entre pistas luego de aplicar los algoritmos.

Se tomaron en cuenta tres mecanismos distintos de normalización, a saber: la aplicada por la plataforma de streaming Spotify y dos tipos particulares de *ReplayGain*, uno aplicado en tiempo real o *on-the-fly* (a través del reproductor multimedia AIMP) y otro de *ReplayGain* estándar (a través del reproductor multimedia Winamp) que primero debe analizar los archivos, escribir el resultado como metadatos y en la posterior reproducción leer esos metadatos para aplicar la corrección de niveles. Para llevar a cabo esta medición se utilizó el software Voicemeeter [44], el cual permite crear entradas y salidas virtuales a partir de una interfaz de audio física; se creó un canal virtual estéreo de salida mapeando la salida física de la interfaz y ese canal se conectó a un canal de entrada dentro del DAW Nuendo. En este último se midió la sonoridad a través de un plugin de análisis de sonoridad denominado LUFS Meter [45]. De esta forma se logró analizar los niveles de sonoridad en LUFS (unidades/dBs de sonoridad) del material reproducido por los distintos reproductores multimedia dentro de una PC. Este software basa su análisis en los lineamientos de la norma ITU-R BS.1770-4 [50].

Se compararon varias muestras de audio (más de 20 en cada caso), de diversos géneros musicales (pop, latino, rock, electrónica, música clásica). En las Tablas 4, 5 y 6 se pueden observar los resultados arrojados.

Tabla 4. Resultados de análisis de sonoridad para la plataforma Spotify.

Tema	Integrated Loudness (LUFS)	Diff (Δ LUFS)
Skrillex - Scary Monsters and Nice Sprites	-12,1	0
Rombai - Locuras Contigo	-13,2	-1,1
Justin Bieber - Sorry	-14,1	-2
Bruno Mars - Treasure	-14,5	-2,4
Rombai/Marama - Noche Loca	-14,7	-2,6
Marama - Loquita	-14,9	-2,8
Michael Jackson - Billie Jean	-15	-2,9
AC/DC - Shoot to Thrill	-15,1	-3
Incubus - Are you In	-16	[-3,9]
Maluma - Sin Contrato	-16	[-3,9]
Jason Mraz - Im Yours	-16,5	[-4,4]
John Mayer - Belief	-16,8	[-4,7]
Armin van Buuren - Burned with Desire	-17,2	[-5,1]
Metallica - Enter Sandman	-18,7	[-6,6]
Rush - Subdivisions	-18,7	[-6,6]
Daft Punk - Harder Better Faster Stronger	-18,8	[-6,7]
Led Zeppelin - Immigrant Song	-19,2	[-7,1]
Bach Cello Suite #1 - Prelude	-21,8	[-9,7]
Wagner Ride of the Valkyries	-23,8	[-11,7]
Vivaldi - Summer III	-25	[-12,9]

Se analizó en cada caso, el valor de sonoridad integrado (en LUFS) a lo largo de la duración de la muestra completa y se comparó la diferencia entre cada una de las muestras y la de mayor sonoridad. De esta forma se obtuvieron valores de Δ LUFS mediante los cuales se pudo relevar la efectividad en cada ocasión para igualar la sonoridad a lo largo de las pistas. Para una mejor y rápida interpretación de los resultados, se marcaron en rojo y entre corchetes los valores de diferencias mayores a 3 dB.

Como se puede advertir, en el caso de Spotify, solamente un 40 % de las muestras lograron tener diferencias menores a 3 dB, mientras que en el caso de *ReplayGain on-the-fly* y *ReplayGain* estándar, estos porcentajes ascendieron a 79,2 % y 85 % respectivamente. Como primer punto, se puede concluir entonces que la normalización de sonoridad en Spotify no es óptima y que la aplicación del método desarrollado por este trabajo no será efectiva en esta plataforma. De forma análoga, se observa que el algoritmo de *ReplayGain on-the-fly* no es tan efectivo como el método estándar, seguramente debido a que al

procesar en tiempo real debe relegar cierta precisión en pos de garantizar eficiencia computacional.

Tabla 5. Resultados de análisis de sonoridad para *ReplayGain on-the-fly*.

Tema	Integrated Loudness (LUFS)	Diff (Δ LUFS)
Skrillex - Scary Monsters and Nice Sprites	-12,4	0
Deadmau5 - Aural Psynapse	-13,1	-0,7
Rombai - Locuras Contigo	-13,1	-0,7
Justin Bieber - Sorry	-13,4	-1
Marama - Loquita	-13,6	-1,2
Daft Punk - Instant Crush	-13,8	-1,4
Metallica - Enter Sandman	-13,8	-1,4
Bruno Mars - Treasure	-13,9	-1,5
AC/DC - Shoot to Thrill	-13,9	-1,5
John Mayer - Belief	-14	-1,6
Armin van Buuren - Burned with Desire	-14	-1,6
Rombai/Marama - Noche Loca	-14	-1,6
Maluma - Sin Contrato	-14,2	-1,8
Nicky Jam - El Perdón	-14,6	-2,2
Jason Mraz - Im Yours	-15	-2,6
Incubus - Are you In	-15,1	-2,7
Black Label Society - Bleed for Me	-15,2	-2,8
Led Zeppelin - Immigrant Song	-15,3	-2,9
Michael Jackson - Billie Jean	-15,4	-3
Daft Punk - Harder Better Faster Stronger	-16,1	[-3,7]
Rush - Subdivisions	-16,8	[-4,4]
Vivaldi - Summer III	-17,7	[-5,3]
Wagner Ride of the Valkyries	-18,3	[-5,9]
Bach Cello Suite #1 - Prelude	-18,4	[-6]

Se aprecia además que hay una marcada diferencia entre las muestras de música clásica (aquellas pertenecientes a Vivaldi, Wagner y Bach) y el resto de los géneros, ya que al ser un género en donde, por lo general, no se hace uso intensivo de la compresión del audio y la amplitud del rango dinámico es mayor, se dificulta la tarea de nivelar la sonoridad. Teniendo en cuenta esto, si se desprecian las muestras de música clásica, la normalización de sonoridad mejora notablemente y se garantiza que, en el caso de *ReplayGain* estándar por ejemplo, la mayoría de las pistas de los géneros más populares estarán normalizadas con un margen de ± 3 LUFS, lo cual es aceptable.

Tabla 6. Resultados de análisis de sonoridad para *ReplayGain* estándar.

Tema	Integrated Loudness (LUFS)	Diff (Δ LUFS)
Skrillex - Scary Monsters and Nice Sprites	-12,7	0
Rombai/Marama - Noche Loca	-13,1	-0,4
John Mayer - Belief	-13,2	-0,5
Armin van Buuren - Burned with Desire	-13,2	-0,5
Rombai - Locuras Contigo	-13,2	-0,5
Justin Bieber - Sorry	-13,4	-0,7
Led Zeppelin - Immigrant Song	-13,4	-0,7
AC/DC - Shoot to Thrill	-13,5	-0,8
Maluma - Sin Contrato	-13,5	-0,8
Rush - Subdivisions	-13,6	-0,9
Metallica - Enter Sandman	-13,8	-1,1
Marama - Loquita	-13,8	-1,1
Incubus - Are you In	-13,9	-1,2
Bruno Mars - Treasure	-14,1	-1,4
Jason Mraz - Im Yours	-14,3	-1,6
Black Label Society - Bleed for Me	-14,4	-1,7
Michael Jackson - Billie Jean	-14,8	-2,1
Vivaldi - Summer III	-14,9	-2,2
Wagner Ride of the Valkyries	-15,8	-3,1
Bach Cello Suite #1 - Prelude	-16,4	-3,7

Habiendo comparado estas tres alternativas de normalización y seleccionado la más efectiva (*ReplayGain* estándar) para las posteriores mediciones de calibración del software, se procedió a tomar tres muestras que se utilizarán para realizar estas mediciones. Analizando los valores de la Tabla 6, (sin tener en cuenta las últimas 3 muestras por ser de música clásica) se puede ver que la diferencia más amplia de sonoridad es de 2,1 LUFS. El criterio entonces para seleccionar las pistas fue el de tratar de homogeneizar las diferencias cubriendo la mayor cantidad de posibilidades de variación de sonoridad entre pistas. Se tomaron 3 pistas, siendo las dos primeras la de mayor y menor sonoridad y una tercera representativa de una sonoridad intermedia. Asimismo, también se consideró la duración de cada pista ya que como requisito de la norma ISO 11904 a aplicar, la duración mínima para una banda de tercio de octava centrada en 20 Hz es de 4 min aproximadamente. En la Tabla 7 se pueden observar las muestras seleccionadas.

Tabla 7. Muestras seleccionadas para realizar las mediciones de calibración del software.

Nº	Artista - Canción	Formato	Loudness (Δ LUFS)	Duración
Tema 1	Skrillex - Scary Monsters and Nice Sprites	MP3 320 kbps	0	4:05
Tema 2	Metallica - Enter Sandman	MP3 320 kbps	-1,1	5:30
Tema 3	Michael Jackson - Billie Jean	MP3 320 kbps	-2,1	4:54

3.3 Metodología de medición aplicada

Como ya se mencionó, previamente a realizar el desarrollo del software que calcule los niveles de dosis, fue necesario realizar mediciones con distintos tipos de auriculares para obtener valores de calibración a introducir dentro del programa. Actualmente la norma que establece las condiciones de medición para el uso de auriculares se trata de la norma ISO 11904. Esta norma posee dos partes, una destinada a medición utilizando un HATS y otra que describe los métodos para realizar una medición utilizando la técnica MIRE (*Microphone In a Real Ear*) que consiste en medir a través de micrófonos colocados dentro del canal auditivo de un individuo. Una de las principales ventajas que posee la parte 2 de la norma 11904 (HATS) sobre la parte 1 de la misma (MIRE) radica en que al utilizar un HATS, los resultados arrojan valores promedio sobre el comportamiento auditivo, ya que los maniqués utilizados se confeccionan bajo estrictas normas que aseguran su similitud antropométrica a la figura y oídos humanos.

Por el contrario, la parte 1 de la norma, al realizarse sobre sujetos reales debe ser llevada a cabo en una gran cantidad de sujetos para garantizar que se desprecien las variaciones producto de estas diferencias en el aparato auditivo. En ambos casos, además, se debe tener especial cuidado en la colocación y configuración del equipamiento: en el caso de la técnica MIRE, la misma presenta inconvenientes al utilizar audífonos del tipo botón o *in-ear* debido a que ocupan el canal auditivo al mismo tiempo que el micrófono de medición; en el caso del método HATS el problema reside en que el acoplamiento entre el auricular y el oído artificial debe ser lo suficientemente similar al correspondiente a la escucha en esas condiciones.

En la Tabla 8 se puede observar un resumen de las diferencias entre ambas mediciones. Con respecto a la medición realizada, se aplicó la parte 1 de la norma debido a la imposibilidad de contar con un HATS al momento de llevarlas a cabo y solo se utilizó un sujeto, dada la gran cantidad de mediciones que fueron necesarias, que no tornó factible

la repetición de estas mediciones con varios sujetos. El desarrollo de este método indirecto de dosimetría, si bien requiere una precisión y una buena estimación de la calibración de entrada, queda abierto a mejoras en su precisión y calidad de cálculo a través de una caracterización más extensiva de estas mediciones, ampliando la cantidad de sujeto por ejemplo para obtener resultados más representativos.

Tabla 8. Diferencias entre ISO 11904-1 y 11904-2.

Parámetro	ISO 11904-1	ISO 11904-2
Tipo de método	Micrófono en oído real	Maniquí
Limitación del método	Al utilizar audífonos de inserción (que se insertan dentro del canal auditivo), puede haber inconvenientes a la hora de posicionar los micrófonos en el canal.	Si la pinna artificial del maniquí difiere en rigidez con respecto a la de un humano, no se podrá alcanzar un acoplamiento óptimo. En algunos casos la persona expuesta no puede ser reemplazada por un maniquí (si debe operar maquinaria por ej.)
Principales problemas que afectan a la precisión	a) Cantidad de sujetos b) Al usar valores tabulados para $\Delta L_{FF,H}$ o $\Delta L_{DF,H}$: - Calibración del micrófono en el canal auditivo - Cuidado en la colocación del micrófono dentro del canal c) Al usar valores individuales para $\Delta L_{FF,H}$ o $\Delta L_{DF,H}$: - Calidad del campo sonoro de referencia - Estabilidad de sensibilidad, respuesta en frecuencia y posición del micrófono dentro del canal	a) Similitud del maniquí al ser humano b) Calibración del maniquí
Rango en frecuencia	20 Hz a 16 kHz	20 Hz a 10 kHz

La norma aplicada establece dos posiciones distintas de colocación del micrófono en el oído, a saber: dentro del canal auditivo con su entrada abierta y sin obstrucciones, o, con el canal auditivo bloqueado, ubicado entre la entrada y el elemento que bloquea. Estas dos configuraciones se pueden observar en la Figura 26; para la medición en cuestión se hizo uso de la segunda alternativa, bloqueando la entrada del canal auditivo con el auricular

a medir (ver Figura 27), ya que esto se corresponde con una situación real de escucha en auriculares y nos permite elaborar conclusiones válidas sobre este contexto.

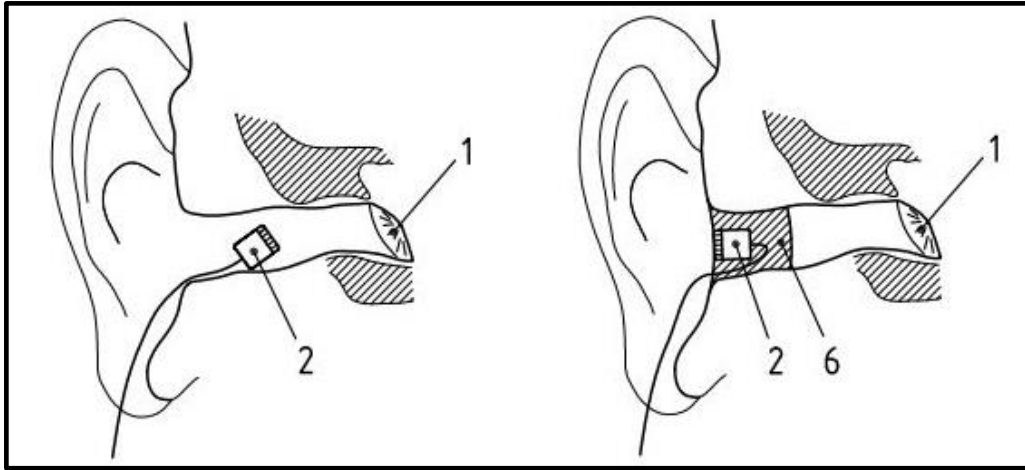


Figura 26. Alternativas de colocación de micrófono dentro del oído según norma ISO 11904-1.



Figura 27. Colocación de micrófonos durante la medición.

El equipamiento utilizado para llevar a cabo la medición fue el siguiente:

- Interfaz de Audio USB RME Fireface UFX+.
- Micrófonos In-Ear DPA 4060.
- Sonómetro Svantek SVAN 959.
- Calibrador Svantek SV-30-A.
- Teléfono Samsung I9070 Galaxy S Advance.
- Auricular 1: Audio Technica M50X.
- Auricular 2: Audio Technica M20X.
- Auricular 3: AKG K44.
- Software de reproducción foobar2000 (versión Android), compatible con ReplayGain.

En la Figura 28 se puede observar de qué forma se realizó el conexionado de los distintos instrumentos para llevar a cabo la medición de forma óptima.

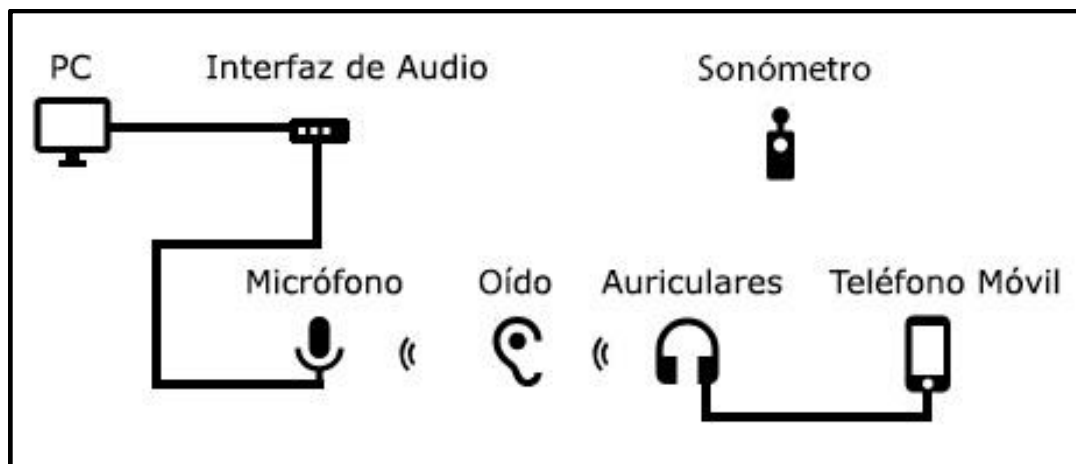


Figura 28. Diagrama de conexión utilizado para las mediciones.

Los estímulos a reproducir fueron los seleccionados en la Sección 3.2 y a través de los micrófonos in-ear se determinó el nivel Leq_A (en bandas de tercio de octava) correspondiente a la duración de la muestra para cada auricular y por cada uno de los 15 niveles sonoros del teléfono celular (aquellos que se seleccionan mediante la botonera lateral del celular y que le permiten al usuario modificar el nivel sonoro, son 15 niveles para teléfonos con SO Android, ver Figura 37). En total por lo tanto se realizaron (1 sujeto x 2 canales x 3 auriculares x 3 muestras x 15 niveles) 810 mediciones. Las mediciones se

realizaron en una habitación de 3 x 3 x 2 m aproximadamente, sin ningún tipo de tratamiento acústico, lo cual no fue necesario debido a que al ser una medición de auriculares las condiciones acústicas del recinto no influyeron en los resultados obtenidos, es decir, no existen problemas de campo al utilizar una disposición de canal cerrado según dicta la norma ISO aplicada. Se utilizó el sonómetro para calcular el ruido de fondo y se calibraron tanto los micrófonos como el sonómetro utilizando el calibrador.

Se grabaron audios de calibración, por un lado y audios de medición por el otro (usando el software Audacity en una PC utilizando Windows). Estos audios fueron ingresados al software de cálculo WavToNPS (Figura 29). Este software permite calcular tanto Leq Global, como NPS y Leq en bandas de tercios de octava, ya sea en tiempo de respuesta Fast/Slow y/o ponderación en frecuencia A/B/C, a partir de un audio de medición y uno de referencia a 94 dB. Se calculó entonces en cada caso Leq_A por tercios de octava utilizando respuesta Slow y ponderación A en frecuencia. En la Figura 30 se puede observar la configuración experimental utilizada.

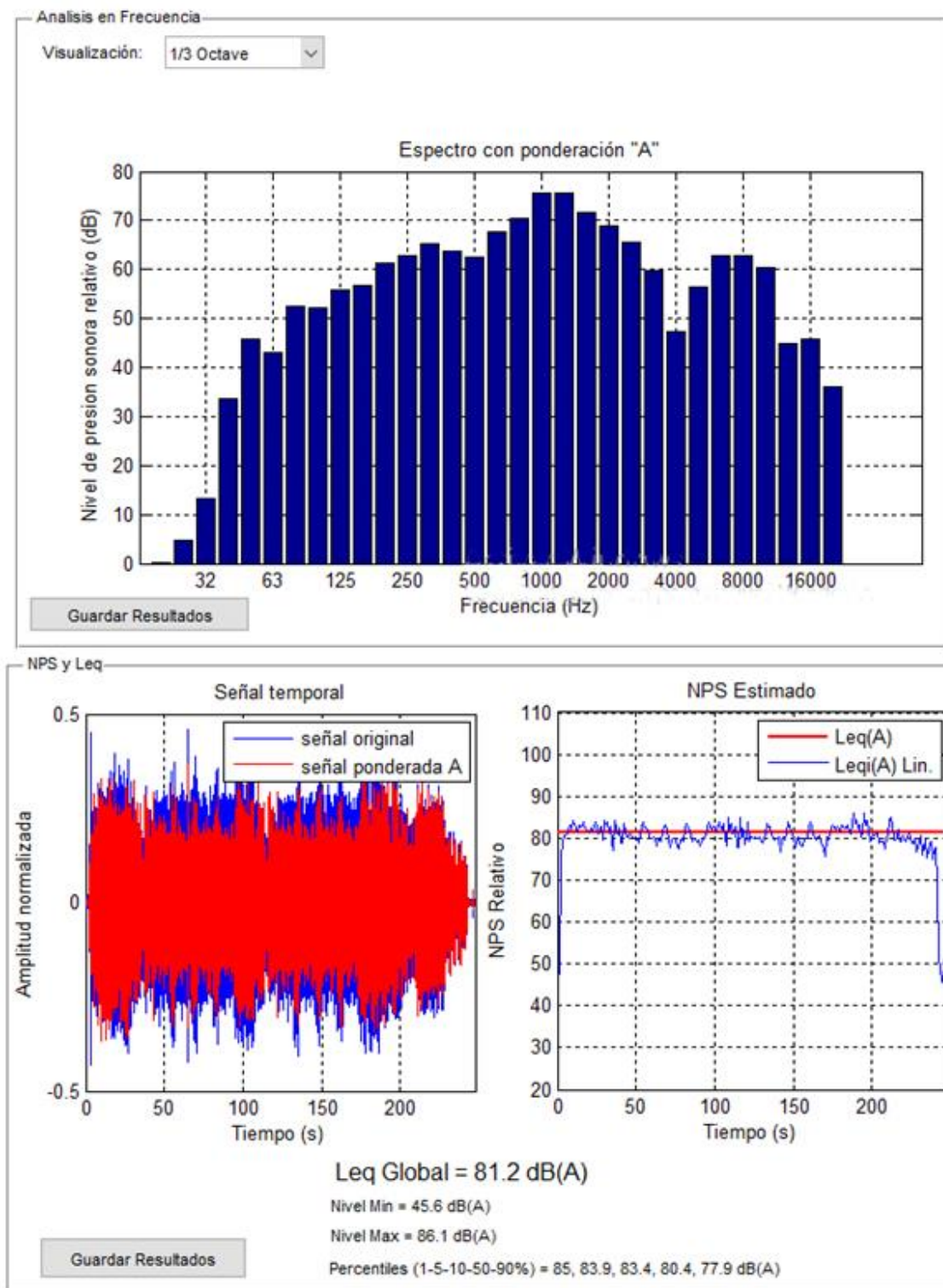


Figura 29. Software de medición WavToNPS.

Tal como especifica la norma ISO 11904-1 las mediciones deben cubrir un espectro de frecuencias de interés (en este caso de 20 Hz a 16 kHz por ser los límites inferiores/superiores cubiertos por la misma norma) y se debe alcanzar en cada banda un nivel de relación señal-ruido mayor a 10 dB en cada caso. El período de medición debe ser elegido teniendo en cuenta una representación apropiada de la exposición a medir. Además, este intervalo dependerá de la frecuencia a medir, dada la relación por las siguientes ecuaciones:

$$t \geq \frac{5000}{f} \quad \text{para } f \leq 2000 \text{ Hz} \quad (21)$$

$$t \geq 2,5 \text{ s} \quad \text{para } f > 2000 \text{ Hz} \quad (22)$$

Por lo tanto, tomando como límite inferior 20 Hz, el mínimo intervalo de medición que abarque a todas las frecuencias de interés será de 250 s, es decir, 4 min y 10 s. Todas las muestras utilizadas se encontraron muy próximas o por encima de este valor.



Figura 30. Configuración experimental: por debajo de los auriculares (alimentando señal desde el teléfono), se encuentran los micrófonos in-ear que se conectaron a la interfaz de audio para la posterior grabación de la señal.

Una vez obtenidos los valores de Leq_A se procedió a convertir estos valores en valores de campo difuso, ya que hasta aquí los resultados no son más que mediciones condicionadas por el realce en frecuencia del oído. Esta corrección se realizó según los valores de la Tabla 9 (en este caso los correspondientes al canal auditivo cerrado), restando los valores de tabla a los obtenidos durante la medición. Una vez corregidos los valores, se obtuvo el Leq_A global en cada caso (sumando energéticamente los resultados de cada banda de tercios de octava) y por lo tanto, se obtuvo para cada uno de los 15 niveles sonoros del teléfono (los que se configuran a través de la botonera lateral del celular), los niveles globales de cada auricular. Promediando los resultados de los 3 auriculares se obtuvieron 15 valores globales promedio, los cuales se utilizaron como calibración de entrada dentro del software de medición de dosis, es decir se toman como los niveles de presión sonora continua equivalente para calcular la dosis de ruido segundo a segundo para cada uno de los 15 niveles de escucha del teléfono móvil. La configuración utilizada de *ReplayGain* se puede observar en la Figura 31. Se utilizó la normalización a nivel de pista, con prevención de “clipping” o limitación y sin ningún valor de Preamp.

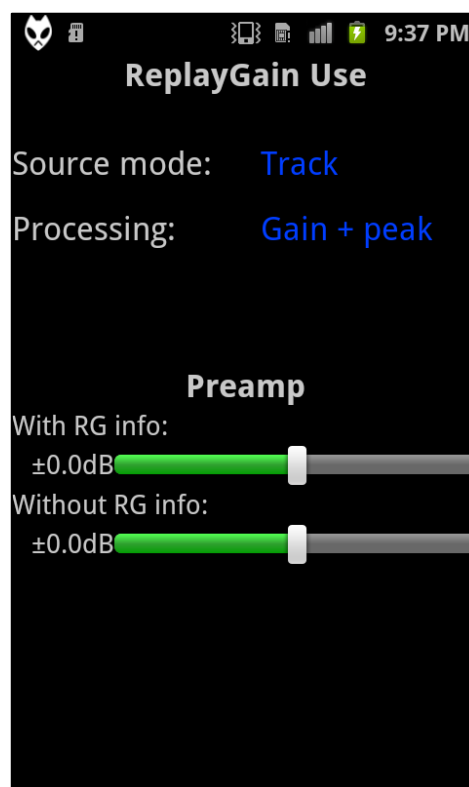


Figura 31. Configuración de *ReplayGain* utilizada durante la medición para el software de reproducción foobar2000.

Tabla 9. Conversión de valores de medición a valores de campo libre/difuso según norma ISO 11904-1.

Frecuencia central de la banda de tercio de octava	Respuesta en frecuencia para campo libre $\Delta L_{FF,H,f}$			Respuesta en frecuencia para campo difuso $\Delta L_{DF,H,f}$		
	Tímpano	Canal abierto	Canal bloqueado	Tímpano	Canal abierto	Canal bloqueado
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
< 100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
125	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
160	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
200	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
250	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
315	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
400	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
500	2,0	1,6	1,7	2,1	1,7	1,7
630	2,3	1,8	1,8	2,8	2,1	2,2
800	3,1	1,3	1,4	3,3	2,5	2,3
1000	2,7	0,6	-0,4	4,1	2,9	2,3
1250	2,9	1,5	1,3	5,5	3,6	3,1
1600	5,8	5,2	4,1	7,7	4,7	3,8
2000	12,4	8,6	6,6	11,0	6,4	4,4
2500	15,7	9,7	7,1	15,3	8,2	5,9
3150	14,7	7,8	10,1	15,7	5,8	8,1
4000	13,2	5,7	12,8	12,9	3,0	10,3
5000	8,9	5,6	10,5	10,6	5,1	10,0
6300	3,1	2,9	2,8	9,4	6,9	7,3
8000	-1,4	-2,0	-1,2	9,5	5,6	6,0
10000	-3,8	-5,0	0,2	6,8	-0,9	3,8
12500	-0,1	5,1	6,1	3,8	1,0	2,0
16000	-0,4	2,2	2,4	0,7	-0,9	-0,2

3.4 Desarrollo del software de cálculo de dosis

Se desarrolló una aplicación móvil para el sistema operativo Android, la cual, a partir de los datos obtenidos en las mediciones, será calibrada de forma tal de poder obtener y calcular el nivel de dosis diaria acumulada instante a instante (cada 1 s). Se desarrolló la aplicación en lenguaje de programación Java (orientado a objetos), a través del IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) Android Studio, un IDE creado específicamente para el desarrollo de aplicaciones en Android. Es importante destacar que a la hora de desarrollar este tipo de aplicaciones se lo hace a través de la creación de objetos particulares denominados “Actividades” (*Activities*) [46].

La clase *Activity*, definida dentro del kit de desarrollo SDK (*Software Development Kit*) de Android, sirve como punto de partida dentro de estas aplicaciones y provee el espacio en donde se diseñó la GUI (interfaz gráfica) con la cual el usuario podrá interactuar. Esta ventana, por lo general, ocupará todo el espacio visible de la aplicación, aunque también es posible apilar varias actividades en capas, dejando visible la actividad en la capa superior. Se debe definir, entonces, en primer lugar, una actividad principal que será la que se ejecute al momento de iniciar la aplicación. Luego, esta actividad podrá invocar nuevas actividades (a través de la clase *Intent*) para que el usuario pueda realizar diversas acciones. Cada actividad posee un ciclo de vida dentro de la aplicación (Figura 32): al crear una actividad (mediante el método *onCreate*), ésta se podrá iniciar mediante el método *onStart* y a partir de ese momento será visible para el usuario. Luego se resumirá y podrá pausarse, para volver a resumirse, detenerse, o eliminarse para liberar memoria del sistema operativo. Como se puede ver, cada cambio de estado en el ciclo de la actividad es acompañado de un método de *callback* que podrá ejecutar código entre cada fase.

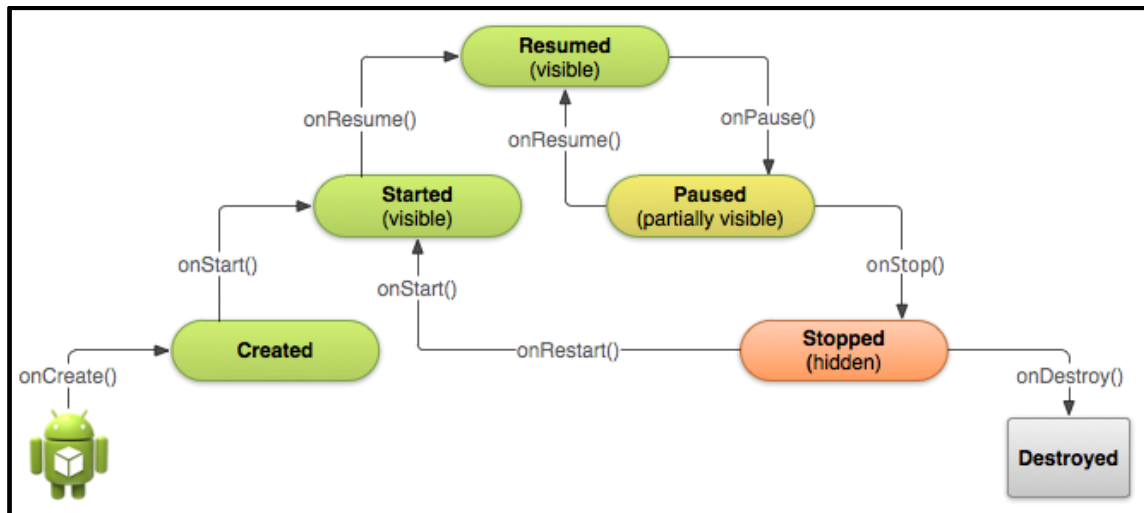


Figura 32. Ciclo de vida de un objeto *Activity*, según SDK de Android [46].

Otro componente muy útil a la hora de desarrollar la aplicación son los servicios (clase *Service*) [47]. Se trata de un componente que puede realizar operaciones de larga ejecución en segundo plano y que no proporciona una interfaz de usuario. Un servicio se puede disparar dentro de una aplicación determinada y continuará ejecutándose en segundo plano, aunque el usuario cambie a otra aplicación o la cierre incluso. Al igual que las actividades poseen un ciclo de vida y se podrán inicializar, pausar, resumir, o detener. La combinación de estos dos tipos de elementos, tanto actividades, como servicios, permiten llevar a cabo la aplicación requerida para el cálculo de la dosis diaria de ruido.

En primer lugar, se definió una actividad principal (Figura 33), que incorpora la GUI central de la aplicación, desde donde se podrá iniciar/detener el monitoreo de la dosis, observar el valor actual y modificar la configuración.

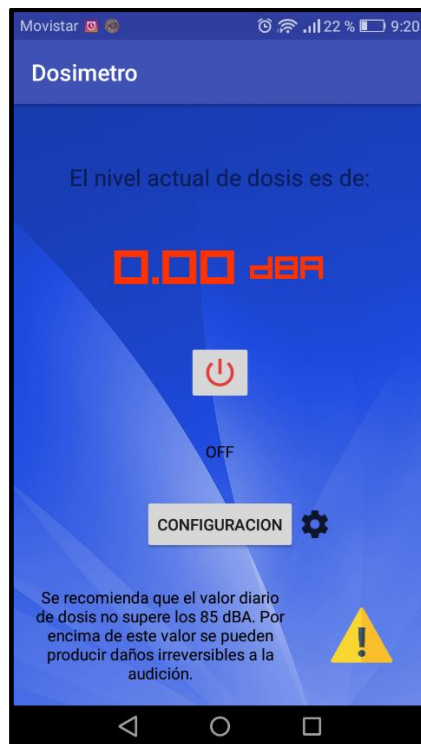


Figura 33: Pantalla principal de la aplicación.

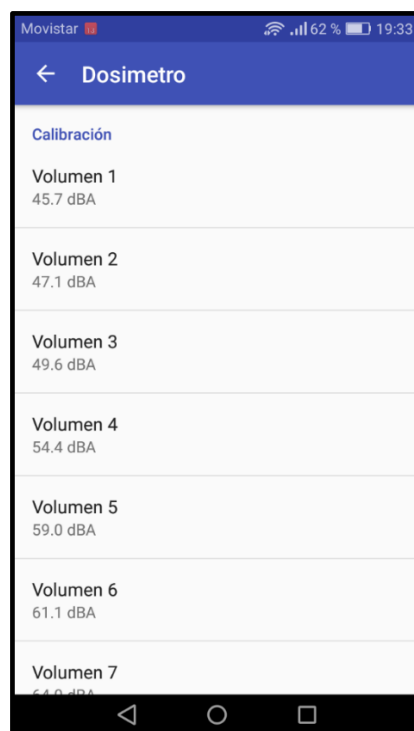


Figura 34. Pantalla de configuración de la aplicación.

Desde allí se podrá acceder a la configuración, en donde se introducirán los valores de calibración en dBA para cada nivel de escucha a seleccionar, es decir, que si el usuario modifica el nivel de la escucha desde la botonera lateral del teléfono (niveles del 1 al 15), se calculará la dosis de ruido considerando el nivel seleccionado (si el usuario coloca su dispositivo en el nivel 12 por ejemplo, el cálculo de dosis se realizará a partir de la calibración obtenida para ese nivel, tomando este valor como el nivel sonoro continuo equivalente por segundo). Una vez introducidos los valores de calibración a utilizar se podrá iniciar el monitoreo de la dosis mediante el botón de “Comenzar”. Este botón iniciará un servicio que calculará la dosis acumulada instante a instante (ver Figura 35). Es importante marcar la necesidad de realizar este proceso a través de un servicio, ya que permite que a pesar de que se cierre la aplicación, se sigan calculando los valores hasta tanto el usuario no cancele la operación. Sin embargo, en este caso, no se trata de un tipo de servicio normal sino de un “*Foreground Service*” y la diferencia radica en que el sistema operativo Android, en cuanto detecta escasez de recursos en el sistema puede detener servicios de forma arbitraria para liberar memoria en el dispositivo. Al iniciar un servicio del tipo “*Foreground*”, éste nunca podrá ser detenido sin interacción del usuario. La única salvedad es que este tipo de servicios al iniciarse, crean una notificación dentro de la barra de notificaciones desde donde el usuario puede estar en conocimiento de que el servicio está activo. Al detener el servicio, esta notificación se eliminará de la barra.



Figura 35. Servicio iniciado a partir de la aplicación. Se podrá ver que se encuentra iniciado a partir de la barra de notificaciones.

La aplicación crea archivos en el teléfono, en donde persiste variables temporales a medida que calcula la dosis en cada caso. Al realizar los cálculos a través de un servicio, no es práctico almacenar estos valores en memoria a través de variables ya que al cerrar la aplicación todas las variables inicializadas se liberan y por lo tanto, se deben persistir los valores acumulados a archivos físicos dentro del teléfono para no perderlos. El servicio ejecuta cada 1 s, un algoritmo de cálculo de dosis que se puede observar en la Figura 36.

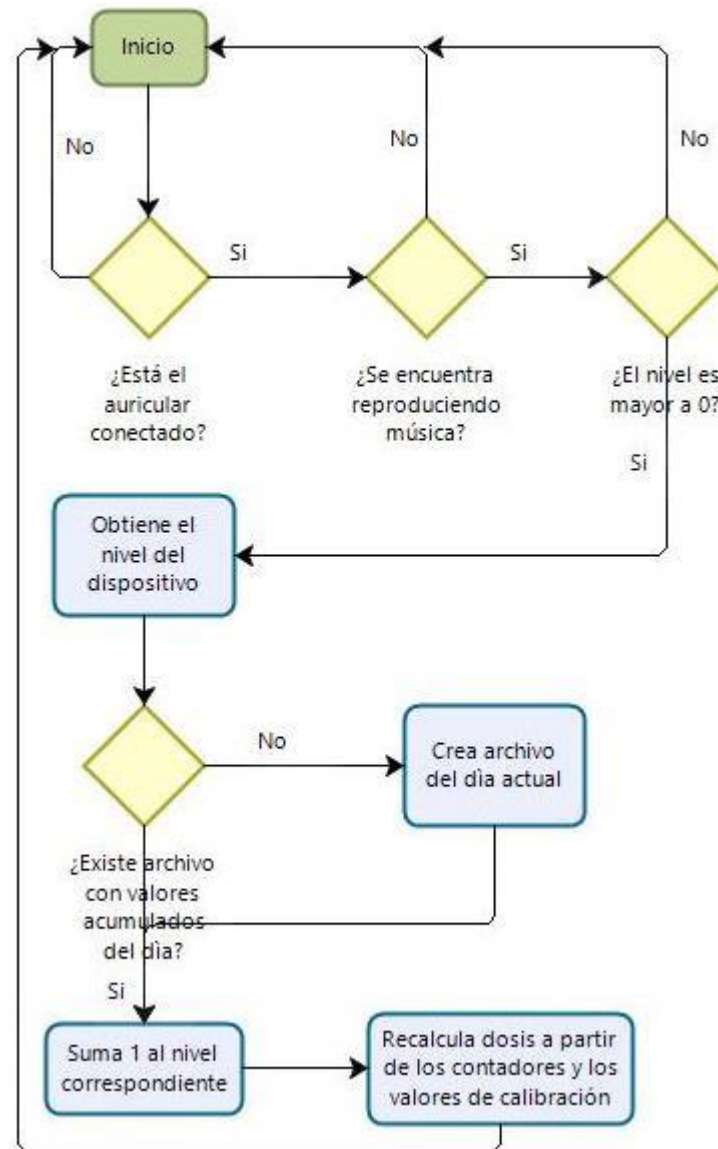


Figura 36. Algoritmo utilizado por el software desarrollado.

En primer lugar, se verifica que los auriculares estén conectados al dispositivo, que se esté reproduciendo música y que el nivel sea mayor a 0, es decir, que no esté silenciado el nivel sonoro del teléfono. Todo esto se realiza a través de funciones específicas del SDK de Android que permiten conocer estos estados. De no cumplirse alguna de estas condiciones, se vuelven a chequear las condiciones al segundo siguiente (siempre y cuando el servicio esté iniciado).

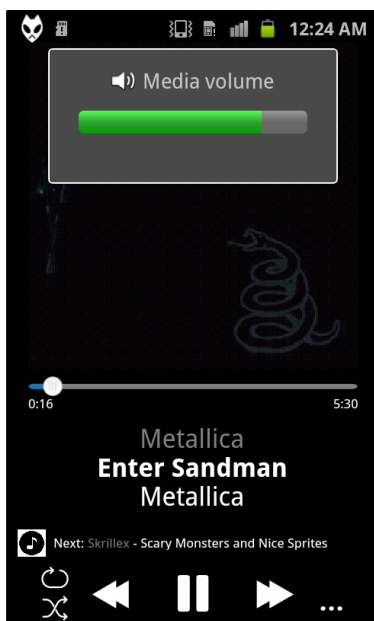


Figura 37. Barra de nivel sonoro de dispositivos Android.

En caso afirmativo, se obtendrá el nivel actual de reproducción (ver Figura 37) y se verificará si existe un archivo del día actual con los valores para el cálculo. Este archivo almacenará por cada día 15 valores enteros (uno por cada nivel sonoro), consignando la cantidad de segundos durante los que se reprodujo música a un nivel dado. Estas variables se almacenarán con el formato “ddMMyyyy_CX”, siendo dd el día, MM el mes, yyyy el año y CX el nivel a contabilizar. Por ejemplo, la variable 15072017_C12, almacenará el contador de segundos para el nivel sonoro N° 12 correspondiente a la fecha 15/07/2017. En caso de no existir un archivo del día actual, (ya sea porque es la primera vez que se inicia el servicio en el día, o porque el mismo estuvo activo durante todo el día y se terminó el día actual), se creará uno nuevo y se comenzarán a acumular los valores nuevamente. Luego de cada acumulación de nivel en estas variables, se procederá a recalcular la dosis, almacenar su nuevo valor y enviar el resultado a la GUI en el caso de que la aplicación principal esté

activa. El cálculo de la dosis se realiza acorde a los lineamientos de la NIOSH [4], según las ecuaciones siguientes:

$$D = \left[\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right] \cdot 100 \quad (23)$$

$$TWA = 10 \log \left[\frac{D}{100} \right] + 85 \text{ dBA} \quad (24)$$

siendo D la dosis expresada de forma porcentual, C_n el tiempo de exposición (en segundos) a un nivel sonoro determinado L_n , T_n el tiempo de exposición (en segundos) a partir del cual ese nivel sonoro determinado se considera riesgoso para la salud y TWA el promedio de exposición en dB para un período determinado, en este caso, un día. A efectos de calcular T_n , se hace uso de la siguiente Ecuación, a saber:

$$T_n = \frac{28800}{2^{(L_n - 85)/3}} \quad (25)$$

De esta forma, al introducir los 15 valores de L_n en la pantalla de configuración (ver Figura 34), el software calculará los valores T_n correspondientes en cada caso mediante la Ecuación 25 y acumulará a cada segundo los valores C_n según corresponda, recalculando TWA por cada lazo de ejecución. En el caso de que el valor de TWA calculado en un momento dado supere los 85 dBA se notificará al usuario mediante una alerta en la barra de notificaciones instándolo a que reduzca los niveles o que cese la escucha por el día. Además, podrá ver la evolución de los niveles de dosis para poder tomar acciones previas a que se alcancen estos niveles y tendrá constancia a todo momento de la dosis acumulada del día. En el Anexo I del presente trabajo se encuentra el código utilizado para realizar todas estas acciones previamente descritas.

4. Resultados y Análisis de Datos

4.1 Obtención de los valores de calibración

A partir de las condiciones de medición especificadas en la sección 3.3, se realizaron mediciones sobre tres tipos de auriculares distintos a partir de tres muestras de audio musicales y para cada uno de los niveles disponibles del teléfono móvil. Estas mediciones permitieron caracterizar a estos auriculares en cada nivel disponible y obtener los correspondientes valores de calibración que resulten representativos para el promedio de éstos. En primer lugar, se obtuvieron los valores de medición de ruido de fondo que arrojaron los valores que se observan en la Tabla 10. Como se puede apreciar, el ruido de fondo fue considerablemente bajo y salvo en los tres niveles inferiores (N1, N2 y N3), se pudo lograr en la mayor parte de los casos una relación señal/ruido de más de 10 dB garantizando el cumplimiento de la norma ISO 11904.

Tabla 10. Resultados obtenidos de la medición de ruido de fondo.

f (Hz)	NPS (dBA)	f (Hz)	NPS (dBA)	f (Hz)	NPS (dBA)
20	12,1	200	25,7	2000	27,5
25	12,7	250	27,9	2500	24,8
31,5	13,6	315	28,2	3150	21,7
40	15,4	400	32,0	4000	21,1
50	25,8	500	32,9	5000	27,1
63	26,7	630	33,7	6300	26,5
80	14,3	800	34,9	8000	23,4
100	12,7	1000	35,4	10000	19,6
125	26,1	1250	34,4	12500	14,9
160	16,9	1600	30,7	16000	9,9
				Global	43,4

Con respecto a las mediciones, en las Figuras 38, 39 y 40 se pueden observar los valores obtenidos para los distintos auriculares (M50, M20 y AKG), comparando los mismos para cada muestra de audio (T1, T2 y T3). Se puede apreciar que en todos los casos el nivel medido fue mayor en T1, luego en T2 y T3 finalmente. Esto es algo lógico de esperar, teniendo en cuenta los datos de la Tabla 7, en donde se muestra la información de sonoridad de cada muestra utilizada, aunque se debe tener en cuenta que LUFS y dBA no son unidades comparables. Las diferencias entre muestras arrojaron fluctuaciones de aproximadamente 2 dBA entre T1 y T2 (sin considerar los últimos tres niveles N1, N2 y N3)

y un promedio de aproximadamente 3 dBA de diferencia entre T1 y T3. Los valores máximos obtenidos rondaron entre 82 y 84 dBA, lo cual en sí se trata de valores no muy elevados. Esto se debió a que al realizar la normalización de sonoridad mediante *ReplayGain* generalmente el nivel decrece luego del proceso de normalización y el nivel de preamplificación se colocó en 0 dB, es decir, no hubo corrección de ganancia luego de aplicar la normalización. Generalmente al normalizar la sonoridad entre varias pistas de audio, la normalización se da en un nivel equivalente “descendente”, es decir, que es preferible adaptar la muestra con mayor sonoridad hacia los niveles de la muestra de menor sonoridad ya que se corre riesgo de “clipping”. Es por esto que *ReplayGain* trae un ajuste de ganancia posterior a la normalización.

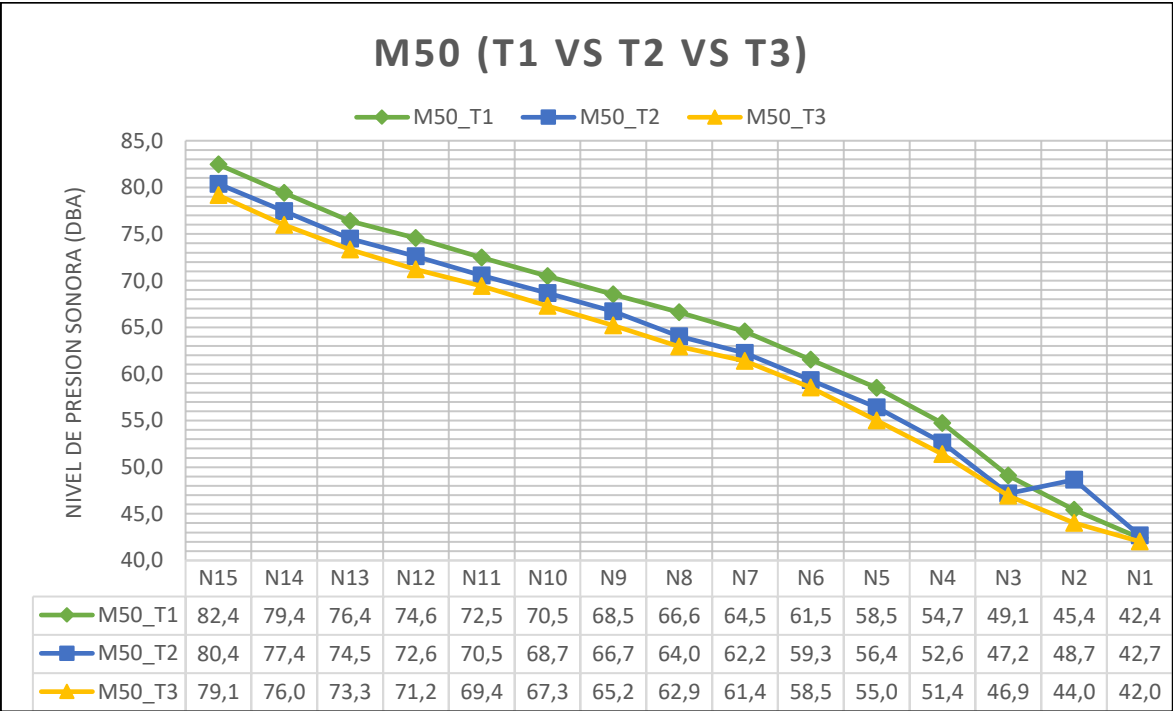


Figura 38. Comparación de valores del auricular M50 para las tres muestras de audio.

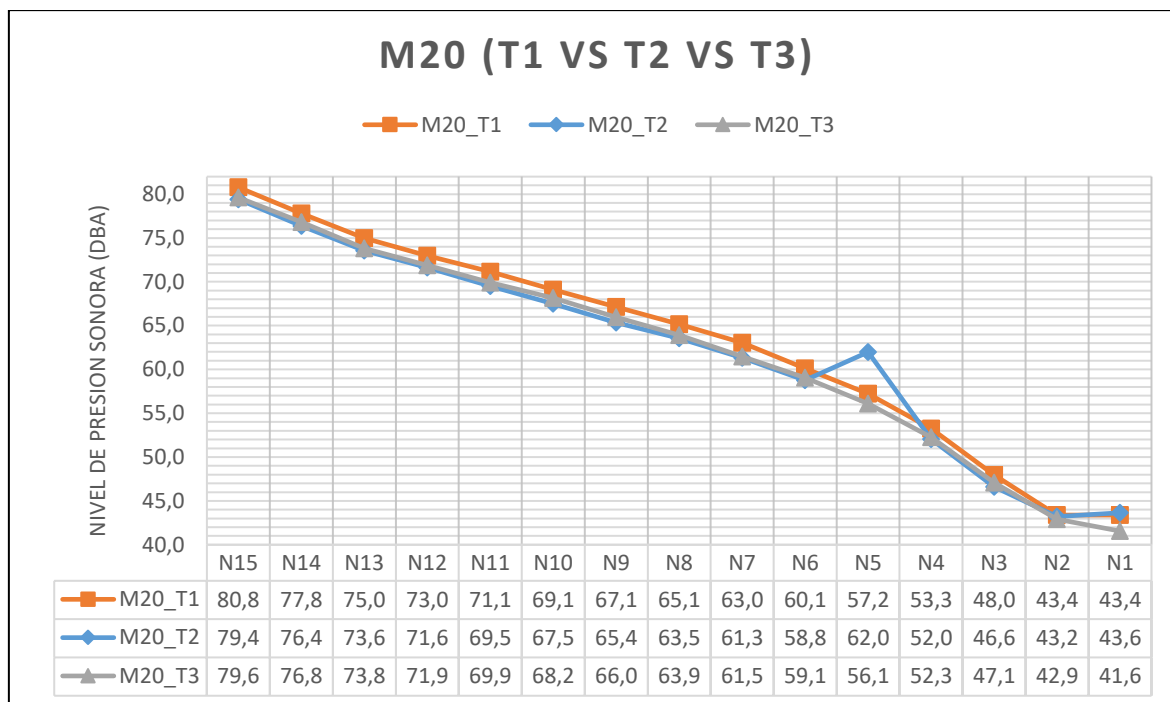


Figura 39. Comparación de valores del auricular M20 para las tres muestras de audio.

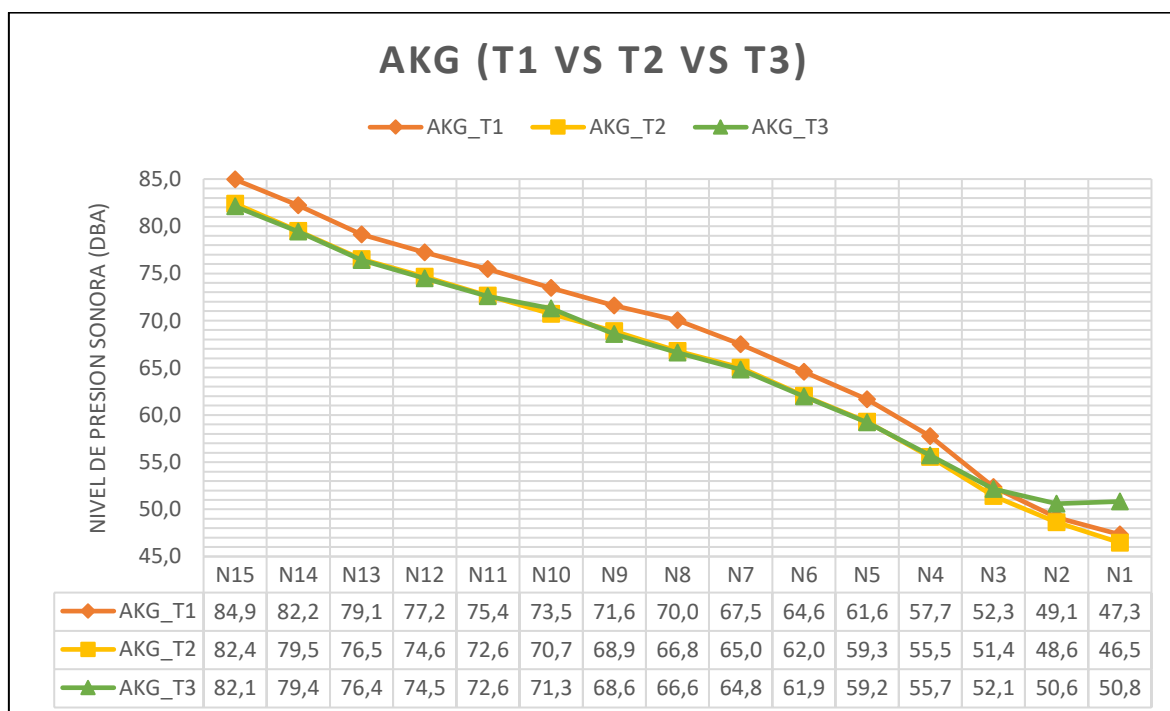


Figura 40. Comparación de valores del auricular AKG para las tres muestras de audio.

En las Figuras 41, 42 y 43 análogamente se pueden observar gráficos de comparación entre los distintos tipos de auricular por cada muestra. Las diferencias arrojadas en estos casos fueron dadas más que nada por la diferencia de respuesta en frecuencia y sensibilidad de cada auricular.

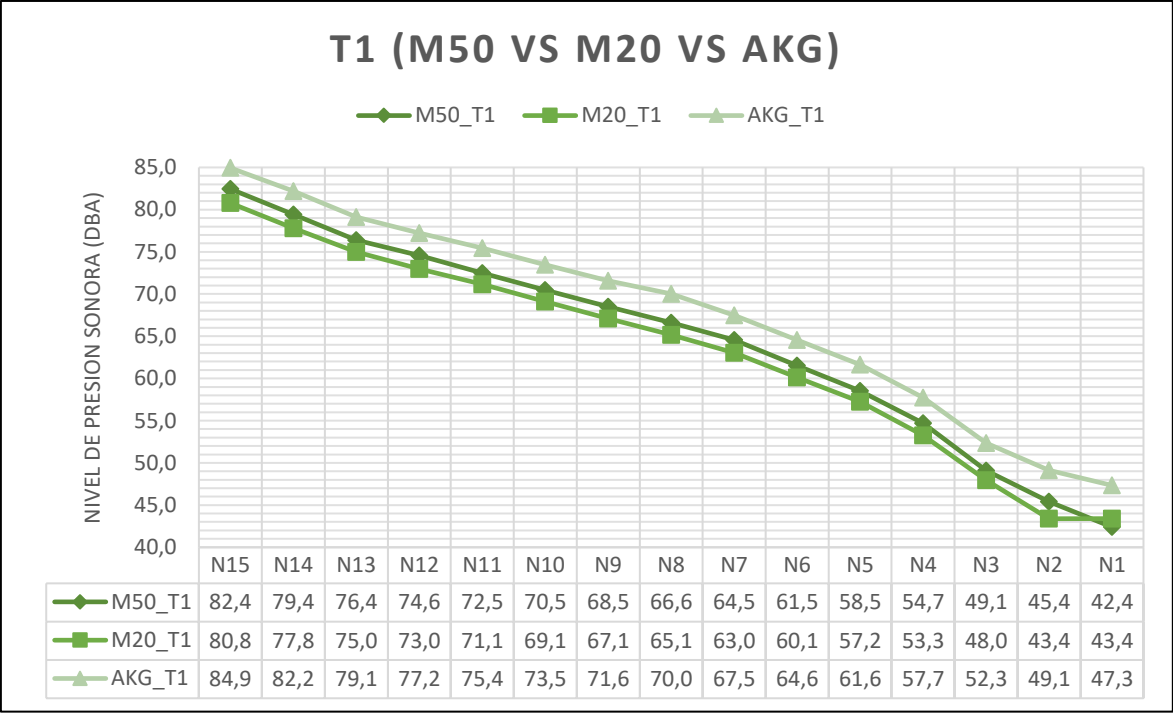


Figura 41. Comparación de valores de T1 para los tres tipos de auriculares.

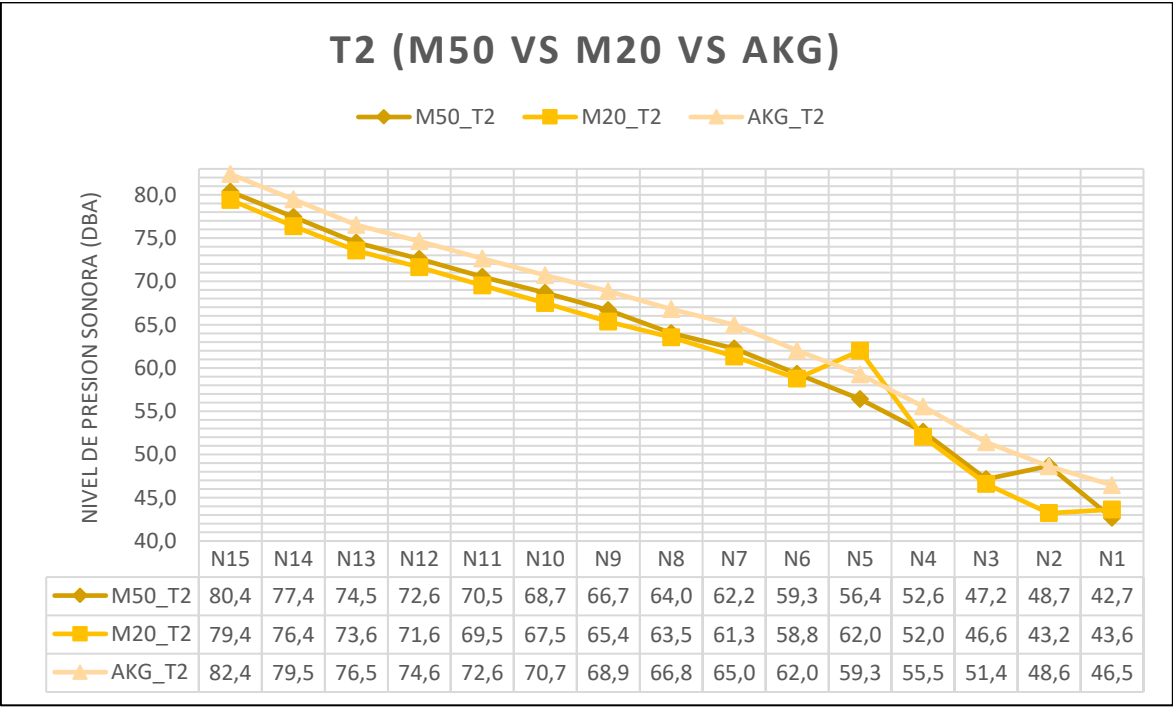


Figura 42. Comparación de valores de T2 para los tres tipos de auriculares.

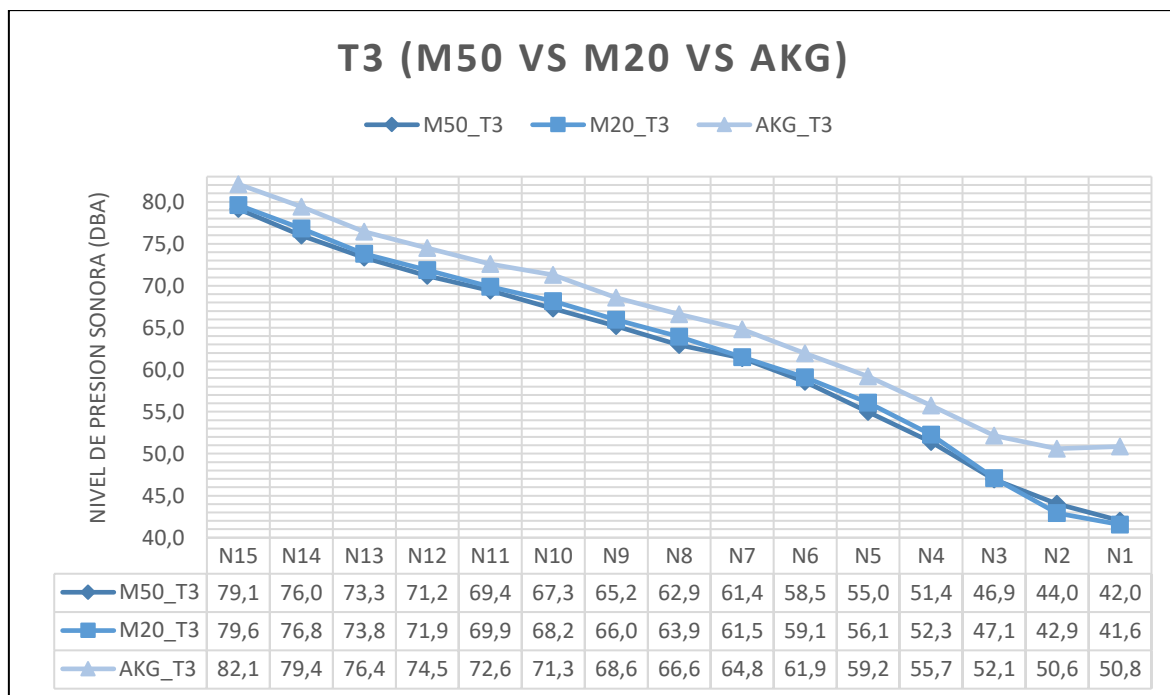


Figura 43. Comparación de valores de T3 para los tres tipos de auriculares.

Finalmente, se promediaron (energéticamente) los valores de cada auricular a partir de los datos y una vez promediado cada auricular según T1, T2 y T3, se procedió a realizar un promedio total para ser utilizado en la calibración del software. Estos resultados se pueden observar en la Tabla 11. De esta forma, se consiguió a partir de la calibración homogeneizar las diferencias encontradas entre este tipo de auriculares (de tipo “copa”), garantizando que el error o la diferencia de cada auricular contra su medición sea igual en ambos tres casos y hacer viable el uso del software desarrollado ante diferentes transductores a partir de su oportuna caracterización.

Tabla 11. Promedios por auricular y promedio total obtenido para la calibración del software.

-	M50	M20	AKG	Promedio Total
N15	80,9	80,0	83,3	81,6
N14	77,8	77,0	80,6	78,8
N13	74,9	74,2	77,5	75,8
N12	73,0	72,2	75,6	73,9
N11	71,0	70,2	73,8	71,9
N10	69,0	68,3	72,0	70,1
N9	67,0	66,2	69,9	68,0
N8	64,8	64,3	68,1	66,1
N7	62,9	62,0	65,9	64,0
N6	60,0	59,4	63,0	61,1
N5	56,9	59,2	60,2	59,0
N4	53,1	52,6	56,5	54,4
N3	47,8	47,2	52,0	49,6
N2	46,5	43,2	49,5	47,1
N1	42,4	43,0	48,6	45,7

5. Conclusiones y líneas de investigación futuras

Esta investigación aporta un método novedoso, con un determinado grado de generalidad y precisión, a la hora de obtener en tiempo real la dosis de ruido a la que se está expuesta durante la escucha con auriculares. Se analizaron estudios previos complementarios sobre el tema, para poder abarcar la problemática de la exposición excesiva a estímulos auditivos y se analizaron herramientas similares que, sin embargo, no demostraron ser del todo prácticas, económicas y/o eficaces para poder obtener valores de dosis y lograr monitorear este tipo de exposición recreativa.

Se desarrolló un software para Android, de forma tal que se pueda calcular la dosis utilizando el mismo dispositivo utilizado para la reproducción, es decir, sin equipamiento extra más que un teléfono móvil. Se calibró este software mediante la caracterización a través de mediciones de distintos tipos de auriculares según la norma ISO 11904 y se logró de esta forma promediar y minimizar la influencia dada por las variaciones constructivas de cada transductor utilizado y se aplicó un algoritmo de normalización de sonoridad para minimizar la influencia de las variaciones de nivel dadas por el audio en sí mismo. No obstante, quedan fuera del alcance de este trabajo y como propuesta a futuro varios puntos. En primer lugar, la aplicación de este método a plataformas de streaming online

como Spotify o iTunes, debido a su masividad, proliferación y potencial de establecerse como las fuentes de escucha musical por excelencia. Además, a lo largo de este trabajo la calibración aplicada abarcó un universo muy reducido de transductores. De contar con una calibración mucho más amplia, realizada sobre una gran cantidad de auriculares, se podría aumentar en gran medida la precisión y disminuir los errores sistemáticos; se podría hasta crear distintos perfiles de calibración según el tipo de auricular (in-ear, botón, copa). Asimismo, en pos de garantizar la validez externa de la aplicación se podrían comparar los resultados obtenidos a través de este método versus los obtenidos por un dosímetro comercial en pruebas de campo sobre sujetos en diversas condiciones de exposición sonora.

Adicionalmente se podrían sincronizar los valores de dosis almacenados en el teléfono contra algún tipo de sistema de almacenamiento en la nube (*Cloud Storage*) como Google Cloud [48], para así garantizar la persistencia de los datos y al cálculo de dosis diaria agregarle y complementarlo con cálculos de dosis semanal y mensual, para realizar un análisis de dosis más abarcativo. Se podría también utilizar este software no solamente para que los usuarios estén al tanto de sus niveles de dosis, sino además para realizar investigaciones como las que fueron previamente mencionadas y evitar que las mismas dependan en su análisis de la duración autoreportada de exposición, que puede ser imprecisa; a través de este método, un investigador podría tener mayor control sobre la exposición de uno o varios individuos a estudiar.

Queda pendiente tener en cuenta dentro de la medición una mayor cantidad de muestras, de distinta sonoridad, para ahondar aún más en la influencia dentro del método de las variaciones de sonoridad y eventualmente, aplicar mecanismos de igualación de sonoridad mejores (dentro de las posibilidades de los avances tecnológicos y científicos actuales), así como también aumentar la cantidad de sujetos de medición o aplicar la parte 2 de la norma ISO 11904 que admite la utilización de un HATS para homogeneizar esas diferencias. Si bien el software en cuestión fue únicamente desarrollado para el sistema operativo Android, existen al día de la fecha tecnologías de desarrollo o *frameworks* que permiten portar fácilmente un mismo código a los tres sistemas operativos móviles más difundidos: Android, iOS y Windows Phone. Uno de los frameworks más reconocidos en este sentido se trata de Xamarin [49]. El mismo permite crear aplicaciones móviles nativas

para cualquiera de estos tres sistemas operativos, a través de código en lenguaje C#. Esto permitiría aumentar el impacto de la aplicación haciéndola más accesible aún.

En resumen, si bien existen varios puntos sobre los que ahondar, rediseñar y mejorar tanto la metodología como la aplicación utilizada, el presente trabajo constituye un primer avance importante en materia de prevención del daño auditivo y se hace eco de la aplicación de nuevas tecnologías para atacar una problemática particular en el área del sonido.

6. Referencias bibliográficas

- 1 – Tieso, S. (2013). Fundamentos de bioacústica. Saenz Peña: Universidad Nacional de Tres de Febrero – 1a ed. –.
- 2 - Vogel, I., Brug, J., Van der Ploeg, C. P., & Raat, H. (2007). Young people's exposure to loud music: a summary of the literature. *American journal of preventive medicine*, 33(2), 124-133.
- 3- International Organization for Standardization (ISO). (2004). Acoustics—Determination of Sound Emission from Sound Sources Placed Close to the Ear (ISO 11904).
- 4- NIOSH, E. (1978). Criteria for a recommended standard. Occupational noise exposure. Cincinnati, Ohio, US National Institute for Occupational Safety and Health.
- 5- Rabinowitz, P. M. (2000). Noise-induced hearing loss. *American family physician*, 61(9), 2759-2760.
- 6- Weichbold, V., & Zorowka, P. (2007). Can a hearing education campaign for adolescents change their music listening behavior? *International journal of audiology*, 46(3), 128-133.
- 7- Levey, S., Levey, T., & Fligor, B. J. (2011). Noise exposure estimates of urban MP3 player users. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 54(1), 263-277.
- 8- Keith, S. E., Michaud, D. S., & Chiu, V. (2008). Evaluating the maximum playback sound levels from portable digital audio players. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(6), 4227-4237.
- 9- Turunen-Rise, I., Flottorp, G., & Tvette, O. (1991). Personal cassette players ('Walkman'). Do they cause noise-induced hearing loss?. *Scandinavian Audiology*, 20(4), 239-244.
- 10- Kryter, K. D. (1970). 'Damage Risk from Exposure to Noise. Ch, 5, 139-205.
- 11- Peng, J. H., Tao, Z. Z., & Huang, Z. W. (2007). Risk of damage to hearing from personal listening devices in young adults. *Journal of otolaryngology*, 36(3), 179-183.
- 12- Williams, W. (2005). Noise exposure levels from personal stereo use. *International Journal of Audiology*, 44(4), 231-236.
- 13- Standards Australia. (2005). Australian/New Zealand Standard AS/NZS 1269.1: 2005 Occupational noise management Part 1: Measurement and assessment of noise immission and exposure.
- 14- Prince, M. M., Stayner, L. T., Smith, R. J., & Gilbert, S. J. (1997). A re-examination of risk estimates from the NIOSH Occupational Noise and Hearing Survey (ONHS). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 101(2), 950-963.
- 15- Griffin, S. C., Neitzel, R., Daniell, W. E., & Seixas, N. S. (2009). Indicators of hearing protection use: self-report and researcher observation. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 6(10), 639-647.

- 16- International Organization for Standardization. (1990). Acoustics: Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment. International Organization for Standardization.
- 17- Danhauer, J. L., Johnson, C. E., Byrd, A., DeGood, L., Meuel, C., Pecile, A., & Koch, L. L. (2009). Survey of college students on iPod use and hearing health. *Journal of the American Academy of Audiology*, 20(1), 5-27.
- 18- Prentice-Dunn, S., & Rogers, R. W. (1986). Protection motivation theory and preventive health: Beyond the health belief model. *Health education research*, 1(3), 153-161.
- 19- A 10 años del lanzamiento: ¿por qué fue una revolución el primer iPod? (n.d.). Accesado el 10/06/2017, desde <http://www.conexionbrando.com/1416235-a-10-anos-del-lanzamiento-del-ipod-que-hay-que-celebrar>.
- 20- Du Gay, P., Hall, S., Janes, L., Madsen, A. K., Mackay, H., & Negus, K. (2013). *Doing cultural studies: The story of the Sony Walkman*. Sage.
- 21- Bauman, Z. (2005). *Ética posmoderna*. Siglo XXI.
- 22- Sennett, R. (1991). *La Conciencia del Ojo*, Ed. Versal, Barcelona.
- 23- Bull, M. (2015). *Sound moves: iPod culture and urban experience*. Routledge.
- 24- Boradkar, P. (2006). 10,000 songs in your pocket: The iPod as a transportable environment. *Transportable environments*, 3.
- 25- Szeliga, R. (2009). The public–private soundscape. *New Creative Strategies*, 1.
- 26- Blesser, B., & Salter, L. (2008). The unexamined rewards for excessive loudness.
- 27- Simun, M. (2009). My music, my world: using the MP3 player to shape experience in London. *New Media & Society*, 11(6), 921-941.
- 28- Kotarba, J. A. (1994). The positive functions of rock and roll music for children and their parents. *Troubling children: Studies of children and social problems*, 155-171.
- 29- Johns, D. (2007). *iPod, therefore I am: thinking inside the white box*. New York: Bloomsbury.
- 30- Survey: iPods More Popular Than Beer. (2006). Visitado el 25/06/2017 desde www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2006/06/08/AR2006060800455.html.
- 31- Huron, D. B. (2006). *Sweet anticipation: Music and the psychology of expectation*. MIT press.
- 32- Simmel, G. (1997). *Simmel on culture: Selected writings* (Vol. 903). Sage.
- 33- Miyara, F., Accolti, E. (2011). Determinación de la exposición laboral a ruido en operadores telefónicos mediante comparación de umbrales auditivos con auriculares telefónicos y audiométricos.

- 34- ISO 389–8. (1998). Acoustics–Reference Zero for the Calibration of Audiometric Equipment–Part 8: Reference Equivalent Threshold Sound Pressure Levels for Pure Tones and Circumaural Earphones (Tech. Rep.).
- 35- Rudmose, W. (1982). The case of the missing 6 dB. The Journal of the Acoustical Society of America, 71(3), 650-659.
- 36- Rung, M. (2015). U.S. Patent No. 9,055,363. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- 37- Knox, J. M. P., Neumeyer, F. C., & Ibrahim, S. (2015). U.S. Patent No. 9,167,339. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- 38- Nilsson, M. (1999). ID3 tag version 2.3. 0. Informal Standard, February.
- 39- Robinson, D. J. (2002). Perceptual model for assessment of coded audio (Doctoral dissertation, University of Essex).
- 40- Fletcher, H., & Munson, W. A. (1933). Loudness, its definition, measurement and calculation. Bell Labs Technical Journal, 12(4), 377-430.
- 41- Zwicker, E., & Zwicker, U. T. (1991). Audio engineering and psychoacoustics: Matching signals to the final receiver, the human auditory system. Journal of the Audio Engineering Society, 39(3), 115-126.
- 42- SMPTE (2000), R. RP 204-2000. SDTI-CP MPEG Decoder Templates.
- 43- Katz, B. (2000). Integrated approach to metering, monitoring, and leveling practices, part 1: Two-channel metering. Journal of the Audio Engineering Society, 48(9), 800-809.
- 44- VB-Audio VoiceMeeter. Visitado el 07/08/2017 desde <http://www.vb-audio.com/Voicemeeter/index.htm>.
- 45- Klangfreund – LUFS Meter. Visitado el 07/08/2017 desde <https://www.klangfreund.com/lufsmeter/>.
- 46- Introduction to Activities | Android Developers. Visitado el 16/08/2017 desde <https://developer.android.com/guide/components/activities/intro-activities.html>.
- 47- Servicios | Android Developers. Visitado el 16/08/2017 desde: <https://developer.android.com/guide/components/services.html>.
- 48- Cloud Computing, servicios de alojamiento y APIs de Google Cloud | Google Cloud Platform. Visitado el 28/08/2017 desde: <https://cloud.google.com>.
- 49- Mobile App Development & App Creation Software – Xamarin. Visitado el 28/08/2017 desde: <https://www.xamarin.com>.
- 50- ITU-R BS.1770-4 Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level (PDF), International Telecommunications Union.

7. Anexos

7.1 Anexo I: Sección principal de código de la aplicación desarrollada

En este anexo se detalla la parte principal del código de la aplicación, la cual realiza los cálculos asociados a la dosis de ruido. El mismo se encuentra escrito en lenguaje Java. No se detalla la totalidad del código ya que es extenso, solamente se detalla esta sección que se corresponde con el módulo principal del software desarrollado.

MainService.java

```
package damis.federico.dosimetro;

//Librerias utilizadas
import android.app.ActivityManager;
import android.app.Notification;
import android.app.NotificationManager;
import android.app.PendingIntent;
import android.app.Service;
import android.content.ComponentName;
import android.content.Context;
import android.content.Intent;
import android.content.SharedPreferences;
import android.media.AudioManager;
import android.os.Bundle;
import android.os.Handler;
import android.os.IBinder;
import android.os.Message;
import android.os.Messenger;
import android.os.RemoteException;
import android.preference.PreferenceManager;
import android.support.v4.app.NotificationCompat;
import android.util.Log;
import java.math.BigDecimal;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Calendar;
import java.util.List;

//Esta clase representa el servicio que ejecuta el calculo de dosis cada 1
segundo.
public class MainService extends Service
{
    //Inicializo variables y constantes
    ArrayList<Messenger> mClients = new ArrayList<Messenger>();
    int mValue = 0;
    static final int MSG_REGISTER_CLIENT = 1;
    static final int MSG_UNREGISTER_CLIENT = 2;
```

```

static final int MSG_SET_INT_VALUE = 3;
static final int MSG_SET_STRING_VALUE = 4;
final Messenger mMessenger = new Messenger(new IncomingHandler());
private static boolean isRunning = false;
private static final int ONGOING_NOTIFICATION = 1;
private int[] T;
private SharedPreferences preferences;
private SharedPreferences.Editor prefEditor;
private AudioManager am;
private float D;
private Float[] SPL;
private float TWA;

//Se define un Runnable que se ejecutará cada 1 segundo
Handler timerHandler = new Handler();
Runnable timerRunnable = new Runnable()
{
    @Override
    public void run()
    {
        am = (AudioManager) getSystemService(Context.AUDIO_SERVICE);
        String fecha = ObtenerFecha();
        //Solo calculo si hay un auricular conectado, hay sonido
        reproduciéndose y el nivel es mayor a 0
        if(am.isWiredHeadsetOn() == true && am.isMusicActive() == true
        && am.getStreamVolume(AudioManager.STREAM_MUSIC) != 0)
        {
            //Obtengo el nivel actual de reproduccion
            int volumen = am.getStreamVolume(AudioManager.STREAM_MUSIC);
            //Obtengo valores de la fecha actual, no de haber valores
            para la fecha actual los creo
            if(preferences.getInt(fecha+"_C0", -1) == -1) {
                for(int i=0;i<15;i++) {
                    prefEditor.putInt(fecha+"_C"+String.valueOf(i),0);
                    prefEditor.apply();
                }
            }
            //Acumulo el nivel, sumo 1 a lo almacenado previamente
            int valorActual =
            preferences.getInt(fecha+"_C"+String.valueOf(volumen-1),0);
            prefEditor.putInt(fecha+"_C"+String.valueOf(volumen-
            1),valorActual+1);
        }
        D = 0;
        //Obtengo el valor de D
        for(int i=0;i<15;i++) {
            D = D + (float)
            preferences.getInt(fecha+"_C"+String.valueOf(i),0)/preferences.getInt("T"+St
            ring.valueOf(i),0);

```

```

    }
    //Calculo la dosis a partir de D
    if(D > 0)
        {TWA = (float) (10 * Math.log10(D) + 85);}
    else {TWA = 0;}

    //Si la dosis es mayor a 85, envio una notificacion emergente
    if (TWA > 85.0f)
    {
        NotificationCompat.Builder mBuilder =
            new NotificationCompat.Builder(MainService.this)
                .setSmallIcon(R.mipmap.ic_test)

        .setContentTitle(getString(R.string.maxDoseTitle))

        .setContentText(getString(R.string.maxDoseText));

        int mNotificationId = 002;
        NotificationManager mNotifyMgr = (NotificationManager)
        getSystemService(NOTIFICATION_SERVICE);
        mNotifyMgr.notify(mNotificationId, mBuilder.build());
    }

    BigDecimal TWA_round = new BigDecimal(String.valueOf(TWA));
    TWA_round = TWA_round.setScale(2, BigDecimal.ROUND_HALF_DOWN);
    //Envio valor obtenido a la GUI, guardo las preferencias y
    espero 1 seg para volver a correr el método
    sendMessageToUI(TWA_round);
    prefEditor.apply();
    timerHandler.postDelayed(this, 1000);
    }
};

@Override
public IBinder onBind(Intent intent)
{
    return mMessenger.getBinder();
}

//Este método se ejecuta al iniciar el servicio
@Override
public void onCreate()
{
    isRunning = true;
    startFgnd();
    InitialisateValues();
    timerHandler.postDelayed(timerRunnable,1000);
}

```

```

@Override
public int onStartCommand(Intent intent, int flags, int startId)
{
    return START_REDELIVER_INTENT;
}

//Este metodo se ejecuta al detener el servicio
@Override
public void onDestroy()
{
    timerHandler.removeCallbacks(timerRunnable);
    isRunning = false;
    //Guardo los valores de config y C y borro lo demas
    String fecha = ObtenerFecha();
    int [] Ctemp = new int[15];
    for(int i=0;i<15;i++) {
        Ctemp[i] = preferences.getInt(fecha + "_C" + String.valueOf(i),
0);
    }
    prefEditor.clear();
    prefEditor.apply();

    for(int i=0;i<15;i++) {
        prefEditor.putString("PREF_EDITTEXT"+String.valueOf(i+1),String.valueOf(SPL[
i]));
        prefEditor.putInt(fecha + "_C" + String.valueOf(i),Ctemp[i]);
    }
    prefEditor.apply();
}

//Flag que almacena si el servicio esta activo o no
public static boolean isRunning()
{
    return isRunning;
}

class IncomingHandler extends Handler {
    @Override
    public void handleMessage(Message msg) {
        switch (msg.what) {
            case MSG_REGISTER_CLIENT:
                mClients.add(msg.replyTo);
                break;
            case MSG_UNREGISTER_CLIENT:
                mClients.remove(msg.replyTo);
                break;
            case MSG_SET_INT_VALUE:
                mValue = msg.arg1;

```



```

        break;
    default:
        super.handleMessage(msg);
    }
}

//Este metodo se utiliza para enviar el valor calculado de dosis a la
GUI
private void sendMessageToUI(BigDecimal floatvaluetosend) {
    for (int i=mClients.size()-1; i>=0; i--) {
        try {
            Bundle b = new Bundle();
            b.putString("str1",String.valueOf(floatvaluetosend));
            Message msg = Message.obtain(null, MSG_SET_STRING_VALUE);
            msg.setData(b);
            mClients.get(i).send(msg);
        }
        catch (RemoteException e) {
            mClients.remove(i);
        }
    }
}

//Este metodo se utiliza para crear el servicio como "Foreground".
//De esta forma el SO no puede cerrar el servicio salvo que el usuario
explícitamente lo desee
private void startFgnd()
{
    Intent intentForeground = new Intent(this, Main.class);
    PendingIntent pendIntent =
PendingIntent.getActivity(getApplicationContext(), 0, intentForeground, 0);
    Notification notification;
    NotificationCompat.Builder builder = (NotificationCompat.Builder)
new NotificationCompat.Builder(getApplicationContext())
        .setSmallIcon(R.mipmap.ic_la)
        .setTicker(getString(R.string.ticker))
        .setContentTitle(getString(R.string.notiTitle))
        .setContentText(getString(R.string.notiText))
        .setContentIntent(pendIntent)
        .setDefaults(Notification.DEFAULT_ALL)
        .setAutoCancel(false)
        .setOnlyAlertOnce(true)
        .setOngoing(true);
    notification = builder.build();
    notification.flags |= Notification.FLAG_FOREGROUND_SERVICE;
    //notification.flags |= Notification.FLAG_ONGOING_EVENT;
    //notification.flags |= Notification.FLAG_NO_CLEAR;
    startForeground(ONGOING_NOTIFICATION, notification);
}

```

```

    }

    //Obtengo los valores de calibracion de las preferencias e inicializo
    valores
    private void InitialisateValues() {
        preferences = PreferenceManager.getDefaultSharedPreferences(this);
        prefEditor = preferences.edit();

        String fecha = ObtenerFecha();

        if(preferences.getInt(fecha+"_C0", -1) == -1) {
            for(int i=0;i<15;i++) {
                prefEditor.putInt(fecha+"_C"+String.valueOf(i),0);
                prefEditor.apply();
            }
        }

        SPL = new Float[15];
        for(int i=0;i<SPL.length;i++) {
            SPL[i] =
Float.parseFloat(preferences.getString("PREF_EDITTEXT"+String.valueOf(i+1),"
"));
        }

        T = new int[15];
        for(int i=0; i<T.length; i++) {
            T[i] = (int) Math.round(28800 / (Math.pow(2, (SPL[i] - 85) /
3)));

            prefEditor.putInt("T"+String.valueOf(i),T[i]);
            prefEditor.apply();
        }
    }

    //Obtengo fecha en formato dd/MM/aaaa
    private String ObtenerFecha()
    {
        int hora = Calendar.getInstance().get(Calendar.HOUR_OF_DAY);
        int dia = Calendar.getInstance().get(Calendar.DAY_OF_MONTH);
        int mes = Calendar.getInstance().get(Calendar.MONTH);
        int anio = Calendar.getInstance().get(Calendar.YEAR);
        if (hora < 4)
            dia--;
        String dia_str = "0"+String.valueOf(dia);
        String mes_str = "0"+String.valueOf(mes+1);
        String anio_str = String.valueOf(anio);
        String date = dia_str.substring(dia_str.length()-
2)+mes_str.substring(mes_str.length()-2)+anio_str;
        return date;
    }

```

```
    public boolean activityIsActive(String myPackage) {  
        ActivityManager manager = (ActivityManager)  
getSystemService(ACTIVITY_SERVICE);  
        List<ActivityManager.RunningTaskInfo> runningTaskInfo =  
manager.getRunningTasks(1);  
        ComponentName componentInfo = runningTaskInfo.get(0).topActivity;  
        return componentInfo.getPackageName().equals(myPackage);  
    }  
}
```