



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil Acústica

Profesor Patrocinante:

Dr. Jorge P. Arenas

Instituto de Acústica

Universidad Austral de Chile

Profesores Co-Patrocinantes

Dr. Samir N.Y. Gerges

Dr. Dylton do Vale Pereira Filho

Laboratorio de Ruido Industrial

Universidad Federal de Santa Catarina

DETERMINACIÓN DE LA ATENUACIÓN EN DISPOSITIVOS AUDITIVOS TIPO OREJERA APLICADOS EN LA PROTECCIÓN, COMUNICACIÓN Y ENTRETENIMIENTO CON CONTROL ACTIVO DE RUIDO

*Tesis presentada como parte de los
requisitos para optar al Grado Académico de:*

Licenciado en Acústica

y al Título Profesional de:

Ingeniero Civil Acústico.

DANIEL ALEXIS CATALÁN URRA

VALDIVIA — CHILE

2011

Dedicado a toda mi familia
A mis Padres Sergio y Mónica
y a mis Hermanos Caroline y David

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo quiero agradecer a toda mi familia, mis padres y mis hermanos que hicieron posible la realización de esta tesis de titulación en Brasil, en especial agradecer a mis padres Sergio y Mónica que son la fuente de inspiración en mi vida académica. Agradecer igualmente a la Universidad Austral de Chile (UACH), por el apoyo académico y monetario entregado en la realización de este trabajo de titulación en el extranjero y al profesor Jorge Arenas del Instituto de Acústica de la UACH por la ayuda y orientación entregada. Además, agradezco a la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC) ubicada en la ciudad de Florianópolis del Estado de Santa Catarina, Brasil, por permitirme realizar este trabajo en sus dependencias, al profesor Samir N.Y. Gerges del Laboratorio de Vibraciones y Acústica ubicado en el Departamento de Mecánica de la UFSC y al profesor Dylton Do Vale Pereira Filho, profesor encargado de la asignatura de tesis de graduación en la carrera de Ingeniería Mecánica de la UFSC, por todo el apoyo académico entregado como profesores Co-orientadores. Por último, reconocer el apoyo del ingeniero civil acústico Danilo De Alemida Agurto, actualmente estudiante de magíster en el área de Vibraciones y Acústica del Departamento de Mecánica de la UFSC, por toda la ayuda entregada en el desarrollo de éste trabajo.

ÍNDICE

Resumen.....	IV
Abstract.....	V
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivos Especificos	3
3. Marco Teorico.....	4
3.1. Protector Auditivo Convencional	4
3.2. Tipos de Protectores Auditivos.....	5
3.3. Tipos de Auriculares.....	5
3.4. Control Activo de Ruido.....	7
3.4.1. Breve historia.....	7
3.4.2. Concepto de funcionamiento	8
3.4.2.1. Control activo de ruido en dispositivos auditivos	11
3.4.2.1.1. Sistema de lazo abierto.....	14
3.4.2.1.2. Sistema de lazo cerrado.....	17
3.4.2.1.3. Sistema de filtro adaptativo.....	19
3.4.2.1.4. Sistemas combinados de lazo cerrado y abierto.....	21
4. Materiales y Métodos.....	22
4.1. Métodos utilizados para medir la atenuación de DAA	22
4.1.1. Conducción Ósea	24
4.2. Consideración Normativa y Método de Evaluación	25
4.3. Materiales y Equipos Utilizados.....	26
4.3.1. Dispositivos auditivos activos	28
4.3.1.1. Protector auditivo activo PAAR 10.....	28
4.3.1.2. Auricular con micrófono ANR Digital 9500.....	29
4.3.1.3. Auriculares Quietcomfort 15	31
4.4. Consideraciones Técnicas.....	32

4.4.1.	Sujetos.....	32
4.4.2.	Rango dinámico	33
4.4.3.	Señal de Prueba y equipos de generación de ruido.....	35
4.4.4.	Campo sonoro y sala de ensayo	36
4.5.	Procedimiento de medición	40
4.5.1.	Atenuación de ruido	41
4.5.2.	Secuencia de medición.....	44
5.	Resultados y Discusion	46
5.1.	Resultados de Ensayos de Atenuación de Ruido	46
5.1.1.	Protector auditivo activo PAAR 10 TELSATE	47
5.1.1.1.	Pérdida de inserción pasiva PIL	47
5.1.1.2.	Pérdida de Inserción Activa AIL	48
5.1.1.3.	Pérdida de Inserción Total TIL.....	49
5.1.1.4.	Parámetros PIL, AIL, TIL y NPS Medidos	50
5.1.1.5.	Discusión de los resultados	52
5.1.2.	Auricular con micrófono activo ANR Digital 9500 “PELTOR”	53
5.1.2.1.	Pérdida de Inserción Pasiva PIL	53
5.1.2.2.	Pérdida de inserción Activa AIL	54
5.1.2.3.	Pérdida de Inserción Total TIL.....	56
5.1.2.4.	Parámetros PIL, AIL, TIL y NPS medidos	58
5.1.2.5.	Discusión de los resultados	60
5.1.3.	Auricular con cancelación de ruido Quietcomfort 15 BOSE.....	61
5.1.3.1.	Pérdida de inserción pasiva PIL	61
5.1.3.2.	Pérdida de inserción activa AIL	62
5.1.3.3.	Pérdida de inserción total TIL	63
5.1.3.4.	Parámetros PIL, AIL, TIL y NPS medidos	64
5.1.3.5.	Discusión de los resultados	65
5.2.	Análisis de la dependencia del nivel de los DAA.....	66
5.2.1.	Protector Auditivo Activo PAAR 10 TELSATE.....	68
5.2.2.	Auricular con micrófono activo ANR Digital PELTOR	70

5.2.3.	Auricular con cancelación de ruido Quietcomfort 15 BOSE	72
5.2.4.	Discusión de los resultados.....	74
5.3.	Análisis Comparativo	76
5.3.1.	Comparación de los tres dispositivos medidos	76
5.3.1.1.	Pérdida de inserción pasiva (PIL).....	77
5.3.1.2.	Perdida de inserción activa (AIL).....	78
5.3.1.3.	Pérdida de inserción total (TIL)	79
5.3.1.4.	Discusión	80
5.3.2.	Comparaciones con otros trabajos	82
5.3.2.1.	Estimación de la pérdida auditiva por ruido inducido a través de AMA	82
5.3.2.2.	Desempeño de la reducción activa del ruido en protectores auditivos y auriculares en sistema de simulación de cabeza y torso artificial.	87
5.3.3.	Comparación con dispositivos convencionales	91
5.4.	Estimación de la Atenuación Total (TA) para los DAA evaluados.....	96
6.	Conclusiones.....	101
7.	Bibliografía	104
8.	Anexos	107
8.1.	Rango Dinámico	107
8.2.	Campo Sonoro	108
8.3.	Medición de los Parámetros PIL, AIL y TIL obtenidos	109

RESUMEN

En este trabajo se expone un análisis detallado para determinar el desempeño en la reducción del ruido de tres tipos de dispositivos auditivos con cancelación activa de ruido aplicados a la protección, comunicación y entretenimiento: un protector auditivo activo tipo orejera, un auricular con micrófono activo tipo orejera y un auricular con cancelación de ruido tipo orejera. Estos dispositivos auditivos incorporan un sistema electrónico para realizar la reducción del ruido, el cual se basa en el principio acústico de control activo de ruido. Este trabajo se realizó utilizando como referencia tres normas disponibles: una Europea (SS-EN 352-4), otra Estadounidense (ANSI/ASA S12.42-2010) y otra Internacional (ISO 4869-6), que entregan todas las especificaciones técnicas, teóricas y prácticas para evaluar el desempeño y otras características importantes de los protectores auditivos. Serán presentados también dos de los métodos más utilizados para evaluar el desempeño de estos dispositivos: el método objetivo llamado micrófono en el oído real “*Microphone In Real Ear*” MIRE, el cual utiliza el parámetro de pérdida de inserción “*Insertion Loss*” IL para evaluar los dispositivos auditivos, y el método subjetivo de Atenuación en el umbral del oído real “*Real Ear Atenuación Treshold*” REAT, que utiliza la diferencia entre dos umbrales de audición percibidos en diferentes condiciones para evaluar dispositivos auditivos. Se presenta también el principio de funcionamiento de tales dispositivos, realizando un análisis desde el punto de vista acústico y electrónico. Finalmente, se presenta un análisis comparativo con otros trabajos previos que abordan el tema.

Palabras Claves: Dispositivo Auditivo Activo DAA, Protector Auditivo PA, Protector Auditivo Activo PAA, Auricular con Cancelación de Ruido ACR, Auricular con Micrófono Activo AMA, método MIRE, Pérdida de Inserción Pasiva PIL, Pérdida de Inserción Activa AIL, Pérdida de inserción Total TIL, Control Activo de Ruido CAR, Nivel de Presión Sonora NPS.

ABSTRACT

In this work a detailed analysis for determining the performance in noise reduction of three types of active noise cancellation hearing devices, which are applied to the protection, communication and entertainment is presented. The devices are: an active hearing protection device of earmuff type, a headset (microphone and headphone system) of earmuff type, and a noise cancellation headphone of earmuff type. These hearing devices incorporate an electronic system for noise reduction, which is based on the acoustic principle of active noise control. This work was done using three standards available as references: a European (SS-EN 352-4), American (ANSI/ASA S12.42-2010) and the international one (ISO 4869-6). These standards provide all of the technical, theoretical, and practical specifications to evaluate the performance and other important characteristics of hearing protectors. It will also be presented two of the methods commonly used to evaluate the performance of these devices: the objective method, microphone in real ear MIRE, which uses the insertion loss parameter IL for evaluating hearing devices, and the subjective method, called real ear attenuation at threshold REAT, which uses the difference between two perceived hearing thresholds at different positions to evaluate the attenuation of hearing devices. In addition, the operating principle of such devices considering the acoustic and electronic point of views is discussed. Finally, a comparative analysis with previous works reported in the literature is presented.

Key Words: Active Hearing Device AHD, Passive Hearing Protector Devices PHPD, Active Hearing Protector Devices AHPD, Headphone whit Noise Cancelling HNC, Active Headset AH, MIRE method, Passive Insertion Loss PIL, Active Insertion Loss AIL, Total Insertion Loss TIL, Active Noise Control, Sound Pressure Level SPL.

1. INTRODUCCIÓN

En la actual sociedad, dominada por industrias que desencadenan el desarrollo tanto urbano como tecnológico de ésta, es inevitable que en algunos casos se generen ambientes con elevados niveles de ruido produciendo una percepción auditiva desagradable, que interfiere en las comunicaciones en una área laboral, arruina un rato de entretenimiento al escuchar música en una área de descanso y, más importante, generando riesgos en la salud de las personas. Ejemplos son la generación de enfermedades como el estrés, las cardiovasculares y la más directa, que es la pérdida de la audición. Existen diversos dispositivos dependiendo de su aplicación que permiten mejorar las condiciones acústicas deseadas tanto para la protección, el entretenimiento personal y, en algunos casos, la posibilidad de protección y comunicación combinadas. Entre estos dispositivos se encuentran los protectores auditivos (PA) para la protección personal, que surgen como una alternativa de protección cuando el control en la fuente de ruido es difícil debido a restricciones económicas, imposibilidad técnica o condiciones ambientales deficientes. Estos PA existen en una amplia variedad en diversos tipos y para diferentes ambientes laborales. También se encuentran los auriculares (comúnmente llamados audífonos), que permiten la reproducción del sonido que se quiera oír en forma individual, ya sea para escuchar música, ver una película o comunicarse. Estos dispositivos existen también en una amplia variedad desde el tipo de colocación hasta el color. Finalmente, se encuentran los auriculares con micrófono, dispositivos que combinan comunicación con protección, siendo también en algunos casos aplicados para situaciones de comunicación y entretenimiento sin entregar protección. Este está conformado por un sistema de recepción (micrófono) y de emisión (altavoz) de audio, donde se recibe y envía una señal sonora.

El creciente avance tecnológico y la necesidad por optimizar las características acústicas de protección, comunicación y entretenimiento en tales dispositivos auditivos, ha llevado a la implementación de sistemas complementarios de reducción de ruido, basados en el concepto acústico del Control Activo de Ruido (CAR), donde por intermedio de un sistema electro-acústico se capta la señal de ruido exterior, produciendo un desfase

determinado en ésta, para luego poder reproducir la nueva señal obtenida y sumarla con la señal original y reducir el ruido a través de interferencia destructiva de señales. Esta técnica puede ser empleada en dispositivos auditivos, tales como protectores auditivos, auriculares convencionales y auriculares con micrófono, en ductos de ventilación, tubos de escapes de vehículos motorizados y muchas otras aplicaciones. En el caso de la protección personal, la implementación del CAR convierte a los PA convencionales o pasivos, que dependen sólo de las características físicas de los materiales de construcción para reducir el ruido, en Protectores Auditivos Activos (PAA). Para el caso del dispositivo auditivo aplicado al entretenimiento y comunicación, la implementación del sistema los transforma en Auriculares con Cancelación de Ruido (ACR) y Auriculares con Micrófonos Activos (AMA), respectivamente.

Este tipo especial de dispositivos auditivos es relativamente reciente, lo cual permite la ventaja de poder realizar estudios innovadores sobre el funcionamiento y desempeño de éstos y así poder a través de este trabajo acercar más esta tecnología a nuestro país.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este trabajo es obtener el desempeño objetivo de la atenuación del ruido en tres tipos de Dispositivos Auditivos Activos DAA, usando la metodología MIRE descrita en tres normas internacionales.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar si existe algún efecto del nivel de ruido en el funcionamiento de los DAA.
2. Describir las características de funcionamiento de los tres DAA, desde el punto de vista acústico y electrónico.
3. Realizar una comparación objetiva, describiendo las ventajas y desventajas con otros trabajos realizados en el área de los DAA, aplicados tanto para la protección, comunicación o entretenimiento.
4. Estimar objetivamente la Atenuación Total de ruido proporcionada por los DAA.

3. MARCO TEORICO

En este capítulo se exponen los conceptos teóricos del trabajo, incluyendo una descripción del concepto de control activo de ruido y sus principales aplicaciones.

3.1. PROTECTOR AUDITIVO CONVENCIONAL

Como los daños de audición son provocados normalmente en el oído interno, el PA actúa como una barrera que dificulta el paso del sonido y protege el oído interno [Botsford, 1972]. Según Gerges y Arenas [Gerges y Arenas, 2010], el funcionamiento del PA depende tanto de las características propias de éste como de las características anatómicas y fisiológicas del sujeto siendo, hasta cierto grado, subjetivo su desempeño y funcionamiento. La energía acústica puede llegar al oído interno por cuatro diferentes caminos como se puede apreciar en la Figura 3.1.

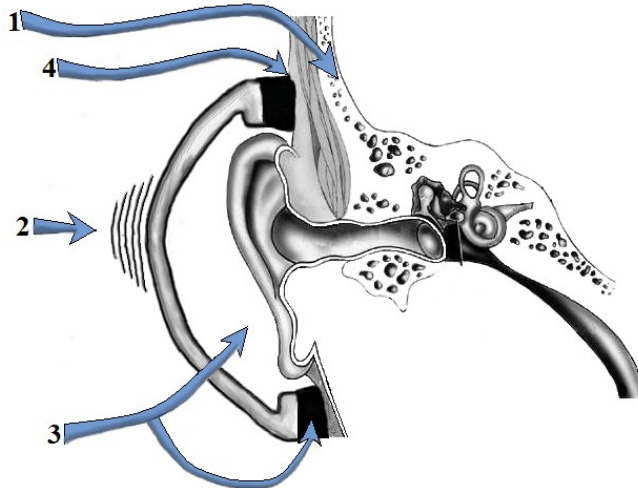


Figura 3.1. Diagrama de los cuatro caminos recorridos por el sonido: 1) Transmisión vía ósea y tejido humano, 2) Transmisión a través de las vibraciones provocadas por el PA, 3) Transmisión a través de los materiales del PA, 4) Transmisión producida por filtración a través del contacto del PA y la cabeza.

3.2. TIPOS DE PROTECTORES AUDITIVOS

En la actualidad existen diversos tipos de PA de diferentes tamaños, formas y modelos, algunos diseñados para ambientes laborales específicos, otros diseñados con características de confort especiales y otros creados específicamente para cada persona. Esta diversidad existente es una ventaja para los profesionales dedicados al área del control de ruido ocupacional, pues permite realizar estudios de los diferentes tipos de PA comparando su eficiencia, confort y modo de uso para diferentes condiciones laborales.

Los tipos de PA existentes en el mercado se pueden clasificar como:

- 1) Protector auditivo de inserción auto-moldeable,
- 2) Protector de inserción pre-moldeado,
- 3) Protector de inserción personalizado,
- 4) Protector tipo orejera,
- 5) Protector para cubrir el canal auditivo,
- 6) Protectores auditivos con filtro pasa-bajos,
- 7) Protectores auditivos con recepción de radio AM/FM y amplificación de sonido,
- 8) Protector auditivo activo

3.3. TIPOS DE AURICULARES

A mediados de los años treinta, las señales eléctricas de las radios y teléfonos eran reproducidas adecuadamente como señales de audio en pequeños altavoces. Luego, se dio origen a los auriculares, que son transductores electro-acústicos que reciben una señal eléctrica de un receptor y reproducen la señal con un altavoz colocados en la proximidad de los oídos, convirtiendo la señal eléctrica en ondas sonoras audibles. Esta función es solamente de reproducción y no de protección auditiva, aunque existen algunos tipos de auriculares que entregan cierta protección pasiva del ruido. Los auriculares son utilizados

principalmente en aparatos de radios, reproductores musicales portátiles, teléfonos, computadoras, etc. También pueden ser conectados a amplificadores musicales.

Estos dispositivos de entretenimiento auditivo poseen funciones específicas que los caracterizan dentro del mercado consumidor. Algunos manejan un rango de frecuencia amplio, que varían de 18 Hz a 30 kHz, dependiendo del modelo. Los de rango de frecuencia extendido poseen en general un mayor costo. Otra característica a destacar es la impedancia eléctrica de éstos, que determina la utilización o no de fuentes de corrientes alternas (amplificadores), dependiendo de la impedancia del dispositivo. Si esta impedancia es pequeña (60 ohm o menor), funcionan apropiadamente sin fuente alterna mientras que si la impedancia es grande (100 ohm o superior), será necesario un amplificador de audio. Otra función es la capacidad de intensidad sonora que pueden lograr en dB. Algunos de estos dispositivos pueden alcanzar hasta 100 dB, siendo esto un riesgo a la salud auditiva de la persona y que en algunos casos ha llevado a la implementación de limitadores de volumen para reducir este valor. También se pueden encontrar auriculares con cancelación de ruido que utilizan el sistema de CAR para reducir el ruido. En la actualidad existen dos maneras de transferir la información eléctrica de audio a los auriculares, una es a través de un cable de cobre u otro conductor por el cual pasa la información eléctrica de audio a través de conectores Jack balanceado (estéreo) de 3,5 mm o 2,5 mm y otra es a través de un sistema de red inalámbrico conocido como “*Bluetooth*”. Esta es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia sin la necesidad de utilizar cables, transfiriendo música desde un emisor (celular, computador, reproductor portátil) a los auriculares. Estos poseen un panel de control incorporado en la copa de los auriculares permitiendo controlar el volumen y la selección de las pistas en el caso de la reproducción musical, facilitando el entretenimiento y las comunicaciones.

Los tipos de auriculares disponibles en el mercado se pueden clasificar como:

- 1) Auriculares supra-aurales,
- 2) Auriculares circumaurales,
- 3) Auriculares intra-auricular (auriculares internos),
- 4) Auriculares en el canal auditivo,
- 5) Auriculares con micrófono (*headset*),
- 6) Auriculares activos.

3.4. CONTROL ACTIVO DE RUIDO

3.4.1. Breve historia

La teoría general del concepto de cancelación activa de ruido emplea el principio de interferencia acústica, cuya teoría general fue dada por C. Huygens en 1660.

En 1934 un científico alemán llamado Paul Lueg (1898 - 1979), fue el primero en patentar el concepto de reducción activa de ruido (en inglés “*Active Noise Reduction*”), en el cual describe como cancelar tonos sinusoidales puros en conductos a través del adelanto de fase en una onda, cancelando arbitrariamente el sonido en la región alrededor del altavoz mediante la inversión de la polaridad de la señal original. La comprobación teórica del control activo de ruido propuesto por Lueg se demoró 20 años y su primera aplicación técnica 50 años. En los años 50 fueron creados los primeros sistemas para cancelar el ruido a través de la técnica de CAR en cabinas de helicóptero y avión. En 1986, en su vuelo alrededor del mundo, Dick Rutan y Jeana Yeager, utilizaron un prototipo de auriculares con micrófonos con el sistema de CAR incorporado, los cuales fueron construidos por la empresa de audio “*BOSE*”.

3.4.2. Concepto de funcionamiento

Actualmente existen dos tipos de control activo de ruido:

1. Los sistema de control activo de ruido que utilizan un altavoz como actuador para cancelar el ruido, los cuales generan una onda sonora desfasada 180° con respecto a la onda sonora original, produciendo la interferencia destructiva.
2. Sistemas de cancelación activa estructural, que utilizan como actuador un transductor de vibraciones (acelerómetro), ubicado en una estructura flexible que genera el ruido.

Físicamente, el sonido se define como fluctuaciones de presión (compresiones y rarefacciones), en un medio elástico compresible donde se transporta energía a través de este medio [Gerges y Arenas, 2010].

Existe una diferencia entre los sistemas activos y pasivos para controlar el ruido. El control pasivo utiliza materiales, tales como espuma, lana mineral, fibra de vidrio, etc., los cuales son efectivos a frecuencias altas y medias. Debido a que el tamaño de los sistemas pasivos de control de ruido depende de la longitud de onda, estos sistemas son de enorme tamaño en frecuencias bajas, lo que los convierte en opciones poco prácticas para ser implementadas en recintos pequeños.

Como se mencionó, el funcionamiento del CAR se basa en el principio de interferencia destructiva. Para comprender mejor este concepto se realizara un enfoque acústico en el cual se puede dividir el proceso en cuatro etapas. Primero, a través de un transductor electro-acústico de entrada (un micrófono o acelerómetro), se capta el ruido o sonido que se quiere reducir transformando las fluctuaciones de presión en el aire en variaciones de voltaje para así poder procesarlo como señal eléctrica. Después en la señal electrónica equivalente al ruido se produce un retardo temporal en la señal de entrada generando una nueva señal que se debe encontrar desfasada 180° con respecto a la señal original. Finalmente, a través de un transductor electro-acústico de salida (un altavoz o acelerómetro), se reproduce la nueva señal de anti-ruido que es superpuesta a la señal

original donde, debido al desfase de 180° producido, los máximos de amplitud de presión sonora del ruido original son superpuestos con los mínimos de amplitud de presión sonora del anti-ruido produciendo así la cancelación de ambas señales y eliminando el ruido, como se puede apreciar en la Figura 3.2.

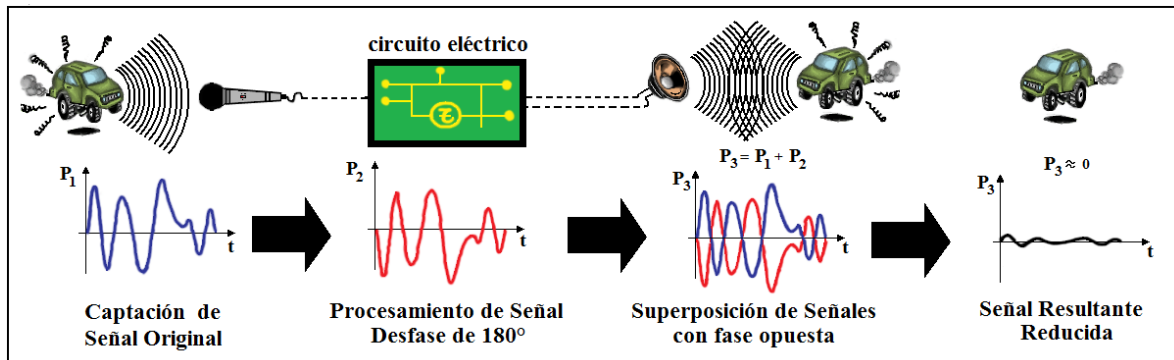


Figura 3.2. Etapas del proceso de control activo de ruido aplicado en la acústica.

En algunos casos existe otra fase que es la de retroalimentación del sistema donde con un micrófono posicionado en la salida del sistema se capta la señal resultante. Esta etapa adicional sirve para modificar el procesamiento de la señal y mejorar el sistema en cada ciclo, disminuyendo su señal de error.

En la práctica, este concepto no entrega una señal completamente nula como resultado final ("silencio"), pues existen variables técnicas y ambientales que no son del todo controladas y que determinan en gran parte el buen funcionamiento de esta técnica. Entre estas se puede mencionar: la respuesta de frecuencia de los transductores electroacústico de entrada y salida, la direccionalidad de éstos, las condiciones de reverberación y absorción del recinto, los cambios de impedancia tanto electrónicos como acústicos experimentados por la señal, etc. De esta forma, en la mayoría de los casos se limita su aplicación a ambientes con fuentes de ruido constantes y recintos con formas geométricas simples, como es el caso de conductos de ventilación, motores de vehículos, cabinas de aviones, copas de auriculares etc. Las figuras 3.3, 3.4 y 3.5 ilustran algunas de las aplicaciones del CAR que pueden ser encontradas en la literatura técnica.

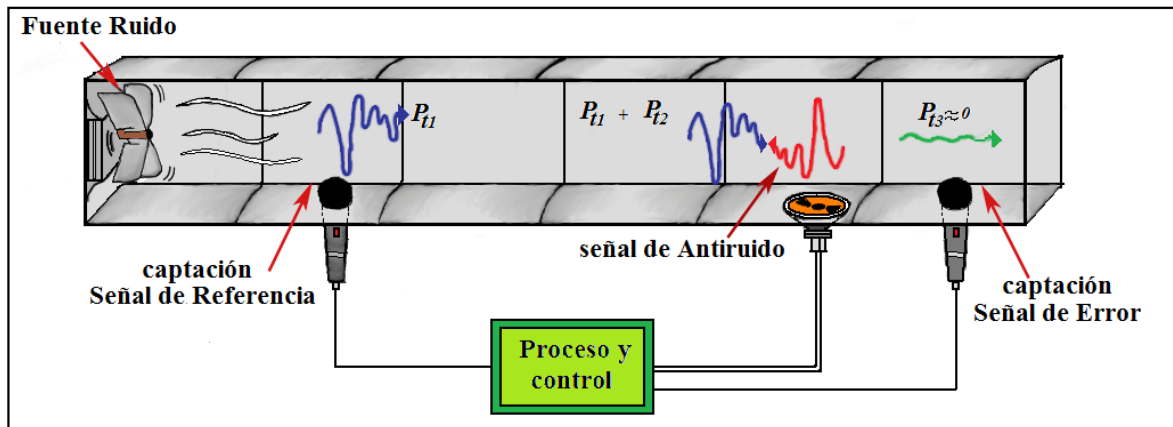


Figura 3.3. Esquema de CAR en un conducto de ventilación.

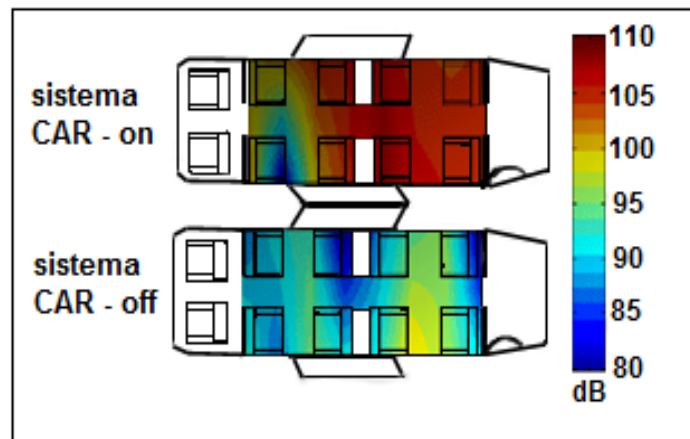


Figura 3.4. Ejemplo de distribución del nivel de presión sonora NPS en dB, con el sistema de control activo encendido y apagado en el interior de un autobús. Imagen extraída del Grupo de Investigación acústica ADDA [ADDA, 2010].

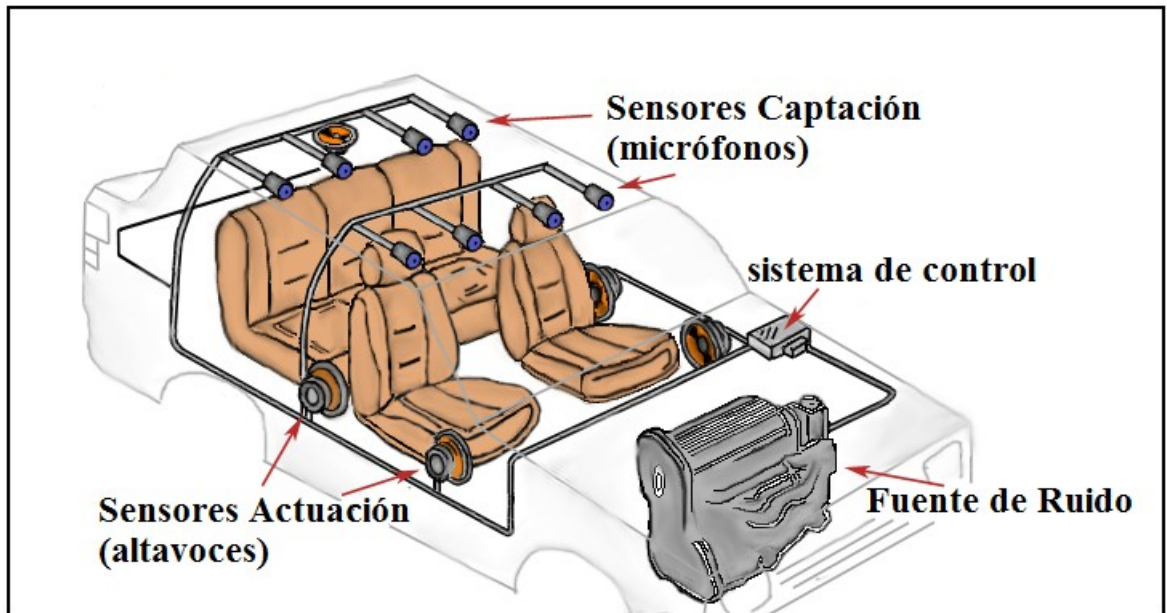


Figura 3.5. Montaje del sistema de CAR en un Automóvil. Imagen extraída del sitio web del grupo de investigación acústica ADDA [ADDA, 2010].

3.4.2.1. Control activo de ruido en dispositivos auditivos

Hace más de 20 años, la empresa de audio “*BOSE*” fue una de las primeras en introducir el sistema de CAR en auriculares con micrófono tipo orejeras utilizados en la aviación y también fue la pionera en suministrar auriculares con micrófonos con CAR en la armada de Estados Unidos, los que fueron diseñados específicamente para el uso en vehículos blindados de oruga, tales como el Tanque M-1 Abrahams y Bradley Fighting. Esto dio pie para que otras empresas como “*PELTOR*”, “*Brue&Kjaer*”, “*SENNHEISER*” y otras, invirtieran en el desarrollo de este tipo de tecnología de CAR, lo que amplió su rango de aplicación en PA y auriculares de entretenimiento.

Al referirse a Dispositivos Auditivos DA, se hace mención a todos los tipos de aparatos que se encuentren vinculados al proceso psicológico y fisiológico que produce la sensación de audición. Estos pueden estar aplicados a la protección, en el caso de los protectores auditivos, la comunicación para el caso de los auriculares con micrófonos y

para el entretenimiento, donde se encuentran todos los tipos de auriculares. También se encuentran los audífonos utilizados para amplificar señales de audio y estimular el sistema auditivo que se encuentre deteriorado debido a alguna enfermedad. Todos estos tipos DA actualmente pueden incorporar el sistema de CAR como complemento para reducir el ruido externo y facilitar su función específica para la cual fueron diseñados.

Existen algunos DA que además de incorporar el sistema de CAR dentro de sus características de reducción de ruido, incorporan un control de volumen de ganancia externo, con el cual se puede ajustar manualmente el grado de atenuación de ruido producido. Estos tipos de dispositivos se encuentran usualmente aplicados a la protección y comunicación, que no es el caso de los dispositivos evaluados en este trabajo.

El proceso físico involucrado en la reducción de ruido para los tipos de dispositivos auditivos estudiados con sistema de CAR o bien Dispositivos Auditivos Activos DAA, utiliza el mismo concepto base de CAR explicado en la sección anterior. Este proceso se puede dividir en dos partes: una parte acústica, que describe el fenómeno físico de propagación, captación y emisión sonora y otra parte electrónica, que describe el tratamiento eléctrico de la señal correspondiente y donde se produce el retardo y procesamiento de la señal correspondiente al ruido. A continuación se explicará cada uno de los procesos involucrados para reducir el ruido en los DAA, limitándose sólo para el caso de los Protectores Auditivos Activos PAA tipo orejera, Auriculares con Cancelación de Ruido ACR tipo orejera y Auriculares con Micrófonos Activos AMA tipo orejera.

El proceso de captación sonora en un DAA es realizado por un micrófono en miniatura, el cual debe ser de alta sensibilidad y direccionalidad para captar todas las variaciones de ruido y en algunos casos, señales de audio de entrada mezcladas con ruido. No hay información disponible sobre el tipo específico de micrófono que puedan utilizar los DAA. Se presume que un micrófono electroestático de condensador podría ser bastante útil debido a su buena respuesta de frecuencia. Este se encuentra ubicado generalmente dentro de la copa de los DAA y por lo tanto, se encuentra en la etapa más importante del sistema donde se procesa la señal eléctrica correspondiente y que es realizado por un

circuito electrónico. Este circuito utiliza filtros análogos y digitales para realizar tal proceso de inversión de fase y corrección de los errores. Este se encuentra ubicado en algunos casos al interior de la copa del DAA. Finalmente, a través de un pequeño altavoz se reproduce la señal de anti-ruido que producirá la reducción. En la Figura 3.6 se encuentra ilustrado el esquema del funcionamiento de los DAA.

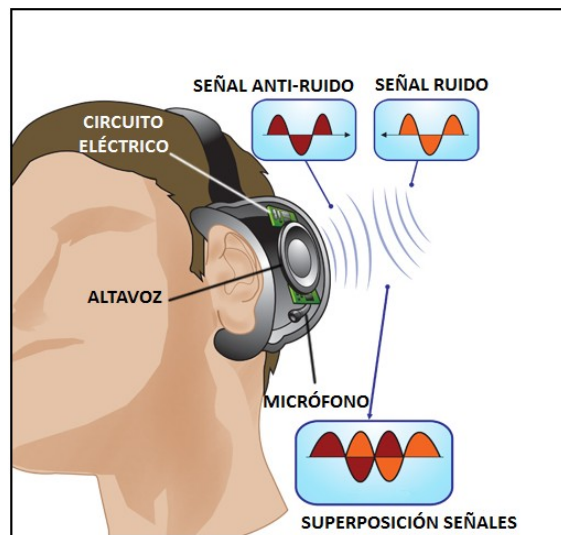


Figura 3.6. Esquema de los procesos involucrados en la reducción de ruido en DAA..

Imagen extraída del sitio web del Blog Indio [The Blogger Indian].

Existen diferentes tipos de configuraciones para la implementación del sistema de CAR aplicados en los DA, que varían según la ubicación de los transductores de entrada (micrófono), la utilización de varios micrófonos, las distintas funciones desempeñadas por el altavoz para el caso de los auriculares (entretenimiento) y auriculares con micrófonos (comunicación) y los diferentes tipos de filtros tanto análogos como digitales utilizados para procesar la señal. En la Figura 3.7 se puede apreciar el esquema de un auricular activo ilustrando algunos de sus componentes principales.

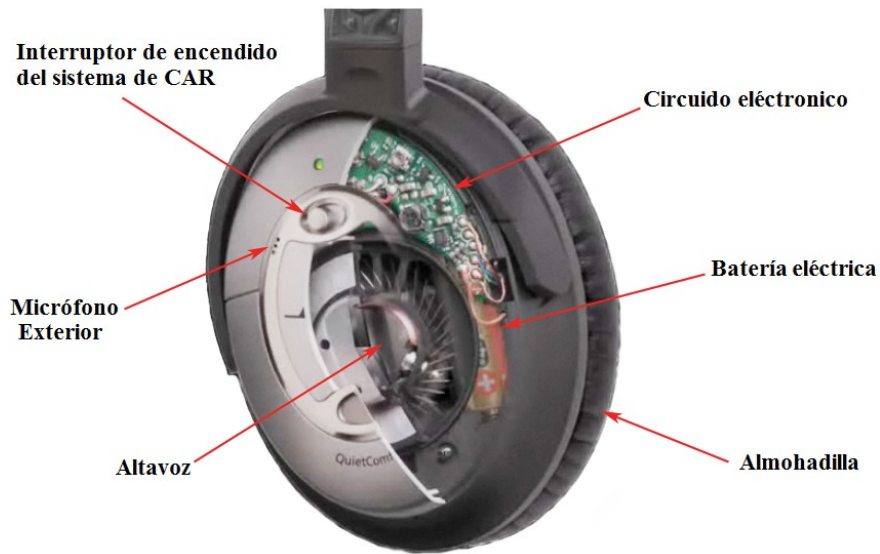


Figura 3.7. Esquema interior de un auricular con el sistema de CAR incorporado.
Imagen extraída de la Empresa de Audio “BOSE”.

Los sistemas de CAR implementados en dispositivos auditivos, utilizan filtros análogos y digitales para invertir la señal y controlar ésta. El proceso de funcionamiento específico de estos filtros requiere un estudio minucioso sobre la electrónica de los componentes y el tratamiento de las señales, lo cual es innecesario para el objetivo de este trabajo.

A continuación se mencionaran los principales tipos de configuración adoptadas por los sistemas de CAR, aplicados en forma general a los auriculares de entretenimiento, pero que también pueden ser utilizados en otros tipos de dispositivo auditivos.

3.4.2.1.1. Sistema de lazo abierto

También conocido en inglés como *Open-Loop System*, este sistema funciona captando primero el ruido a través de un micrófono posicionado al exterior de la copa del DAA. Después, un amplificador de inversión de fase crea la señal de anti-ruido, que es

enviada directamente al altavoz para ser reproducida y consecuentemente reducir el ruido, para el caso de la implementación en PA.

Para el caso de los auriculares, donde además de reproducir la señal de anti-ruido se desea reproducir un señal de audio, la señal de audio es mezclada con la señal de anti-ruido para reproducir ambas señales en el altavoz y cancelar el ruido (ver Figura 3.8). El anti-ruido debería atenuar el ruido externo, disminuyendo el NPS en el oído y dejando la señal de audio más intensa. Este tipo de sistema posee la desventaja de no adaptarse a los diferentes usos o tipos de ruidos a reducir.

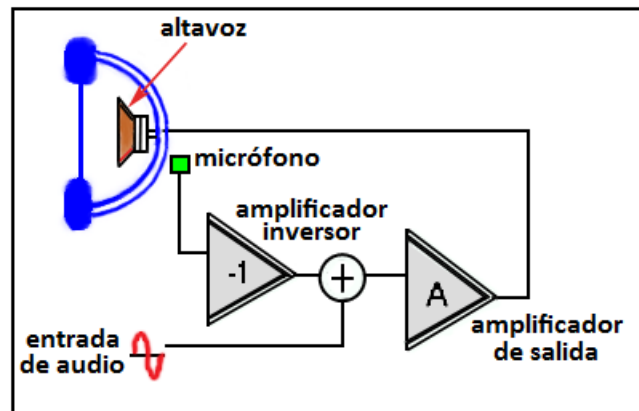


Figura 3.8. Diagrama de bloque del sistema de lazo abierto para auriculares con CAR.

Imagen extraída del sitio web de “Headwise” [Headwise, 2008].

El sistema de lazo abierto posee la ventaja de ser un sistema simple utilizando sólo amplificadores inversores de fase para procesar la señal e invertirla. Comúnmente, este sistema es aplicado a auriculares tipo orejera pudiendo ser aplicados también para PA. Su desventaja más importante está en la ubicación del micrófono al exterior de la copa del DAA, pues el ruido captado no es una copia perfecta del ruido que se encuentra dentro de la copa del dispositivo, debido a que éste es alterado por los cambios de impedancia experimentados por el ruido a través de los materiales del dispositivo, así como también por las reflexiones internas producidas.

En promedio, el sistema de lazo abierto puede producir una atenuación de 10 a 15 dB [HeadWize, 2008], en auriculares y algunos tipos de PA, especialmente tipo orejera. En la Figura 3.9 se puede apreciar el esquema de un circuito electrónico para un sistema de lazo abierto utilizado para auriculares tipo orejera.

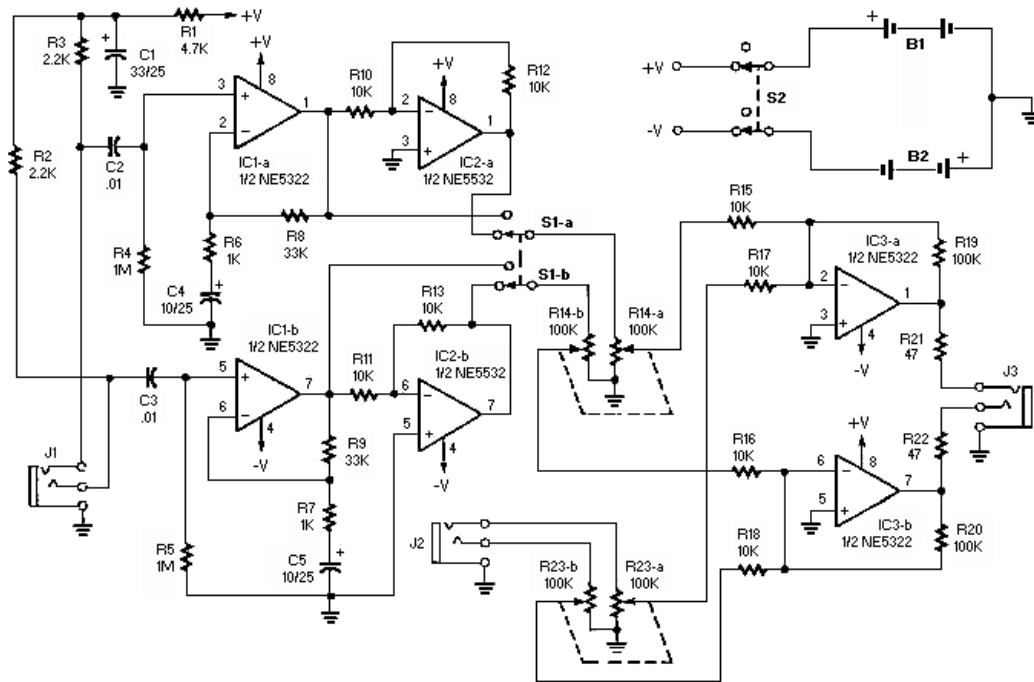


Figura 3.9. Ejemplo de un circuito electrónico para un sistema de CAR de lazo abierto aplicado para auriculares, que permite la entrada de una señal de audio. Imagen extraída del sitio web de “Headwise” [Headwise, 2008].

3.4.2.1.2. Sistema de lazo cerrado

Una señal de anti-ruido más precisa puede ser obtenida con este sistema, en el cual el micrófono se encuentra ubicado en el interior de la copa del DAA frente al altavoz, creando un circuito electrónico cerrado (ver Figura 3.10), donde el transductor de entrada además de captar el ruido al interior de la copa del dispositivo recibe también la señal de audio, para el caso de los auriculares. Caracterizado por la retroalimentación negativa, este sistema permite realizar constantemente correcciones, para producir una señal de anti-ruido lo más óptima posible, disminuyendo el grado de error.

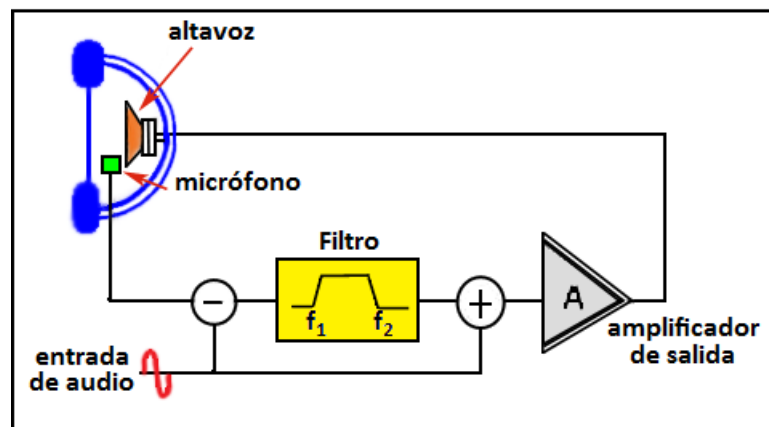


Figura 3.10. Diagrama de bloques de sistema de lazo cerrado para CAR en auriculares.

Imagen extraída del sitio web de “Headwise” [Headwise, 2008].

La primera etapa del sistema consiste en remover la señal de audio deseada de la mezcla de señales (audio, ruido, residuo de ruido más anti-ruido), restando sólo la señal de ruido y el residuo. En la etapa siguiente se invierte la señal de ruido en 180°, y en esta etapa se compensa la señal de ruido invertida en 180°, corrigiendo los errores a través del residuo para asegurar una buena estabilidad del sistema. Finalmente, se introduce la señal de audio deseada para ser reproducida en el transductor de salida y nuevamente continuar con el ciclo. Debido a la retroalimentación negativa, este sistema puede ser inestable bajo ciertas circunstancias [HeadWize, 2008].

La reducción de ruido producida por este sistema es calculada por la función de transferencia en la ecuación (1).

$$H_c = \frac{H_c}{(1 - H_c \cdot H_f)} \quad (1)$$

donde

H_c : Es la función de transferencia de la cavidad física en la copa del DAA.

H_f : Es la función de transferencia del circuito de retroalimentación de CAR.

El mayor valor de H_f garantiza la mayor reducción de ruido, asumiendo una retroalimentación con un desfase exacto de 180° con respecto al ruido en la copa del dispositivo, produciendo el punto de máxima atenuación en la posición del micrófono.

Este tipo de sistema está propenso a oscilaciones debido a los excesivos cambios de fase producidos en la retroalimentación a causa del tiempo de retardo entre la distancia del altavoz y del micrófono, además del inherente retardo del micrófono y el altavoz propios de los transductores. Una forma de minimizar los cambios de fase del retardo para el primer caso es acortando la distancia entre el micrófono y el altavoz. Para el segundo caso se puede aplicar un filtro pasa-bajo para ajustar la fase y el contenido de alta frecuencia en la señal de retroalimentación, lo que sirve también para limitar el rango operacional del CAR a bajas frecuencias.

3.4.2.1.3. Sistema de filtro adaptativo

Los sistemas analizados anteriormente emplean filtros analógicos para crear el anti-ruido los cuales no se pueden adaptar a las pequeñas diferencias producidas por diferentes usuarios del mismo dispositivo, formas de oído diferentes, etc. La utilización de filtros digitales para la cancelación del ruido permite más versatilidad y más fácil configuración que los filtros análogos. Este tipo de filtros digitales son llamado filtros adaptativos y éstos permiten realizar varias funciones además de la inversión de la señal de ruido, como la corrección de fase y amplitud simultáneamente.

En la Figura 3.11, se puede apreciar el diagrama de bloques de un ejemplo de filtro adaptativo aplicado a auriculares con CAR. Un micrófono de referencia ubicado en la parte superior de la cinta ajustadora capta el ruido exterior, el filtro adaptativo predice el ruido al interior de la copa del dispositivo a través de la función de transferencia total que modela el sistema del auricular. La inversión de la señal de ruido es adicionada a la señal de audio deseada para el caso de auriculares y enviada ambas al transductor de salida (altavoz). Un segundo micrófono mide al interior de la copa del dispositivo el sonido resultante (suma del ruido más anti-ruido y señal de audio) y genera la señal de error que servirá para la convergencia del filtro hacia el valor nulo (esto es, eliminar el error), para generar una señal de anti-ruido lo más exacta posible.

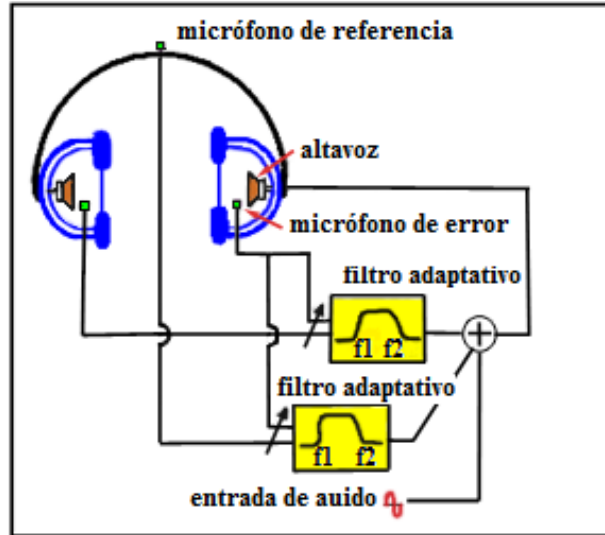


Figura 3.11. Diagrama de bloques de aplicación de filtro adaptativos en DAA. Imagen extraída del sitio web de “Headwise” [Headwise, 2008].

Un algoritmo típico utilizado por el filtro adaptativo es el LMS, acrónimo inglés de “*Least-Mean-Square*”, el cual es preparado fuera de línea con ruido blanco para operaciones de banda ancha. Una de las desventajas del filtro LMS es que debe ser vuelto a entrenar para cambios en el paso de la retroalimentación (por ejemplo, con cambios de temperatura, diferentes usuarios de los dispositivos, etc.). Si el ruido es de banda-estrecha o tonal, el rendimiento de cancelación de ruido se degradará porque el filtro LMS se intentará adaptar sin converger. Para este caso, una opción es utilizar el filtro IIR, del inglés “*Infinite Impulse Response*”. El filtro IIR es uno de los mejores para modelar sistemas acústicos y pasos de retroalimentación.

Un algoritmo recursivo LMS, (de dos filtros LMS) puede optimizar los coeficientes del filtro y en consecuencia adaptarse mejor a los cambios en la retroalimentación, con un valor de tiempo de retraso escogido para una región específica de frecuencias, asegurando una mayor estabilidad.

3.4.2.1.4. Sistemas combinados de lazo cerrado y abierto

En la actualidad es común encontrar en los DAA sistemas con configuraciones combinadas, que poseen un micrófono al exterior e interior de la copa del dispositivo, el cual además de captar el ruido al exterior e interior de la copa y el error, sirve para correlacionar las señales exteriores e interior captadas y utilizarlas para disminuir el error. Este tipo de configuraciones, en su gran mayoría, utiliza filtros digitales adaptativos debido a su versatilidad y fácil configuración. En la Figura 3.12 se puede apreciar un diagrama de bloques de un ejemplo de esta implementación.

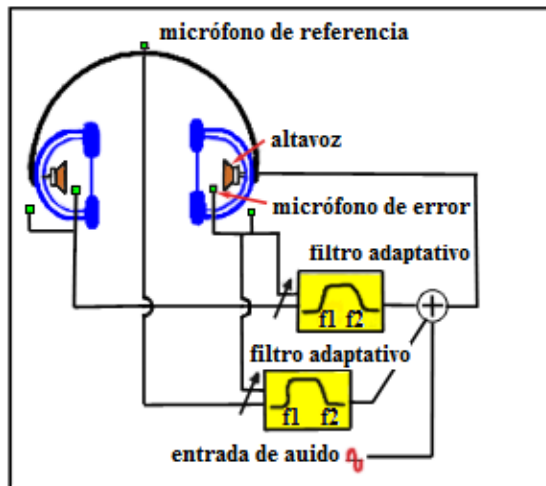


Figura 3.12. Diagrama de bloques de configuración combinada de lazos en DAA. Imagen extraída del sitio web de “Headwise” [Headwise, 2008].

Como fue explicado, la mayoría de estas configuraciones es aplicada a auriculares donde además de enviar la señal de anti-ruido se desea reproducir una señal de audio. La implementación de estos sistemas acarrea una serie de conceptos teóricos electrónicos y de tratamiento de señales que son bastante complejos y que en la actualidad son diseñados por programas computacionales, donde se consideran todas las variables y factores necesarios para poder entregar una reducción del ruido óptima.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se mencionará las técnicas de medición objetivas y subjetivas actualmente disponibles para evaluar la atenuación de los DAA considerando las normas correspondientes. También se explicará los pasos involucrados en la técnica de medición escogida y la instrumentación e infraestructura utilizada para realizar los ensayos de medición.

Algunos datos técnicos de la medición han sido presentados anteriormente en el trabajo realizado en la UFSC por de Almeida [De Almeida, 2010; De Almeida et. al., 2011], usando los mismos equipos de medición e infraestructura.

4.1. MÉTODOS UTILIZADOS PARA MEDIR LA ATENUACIÓN DE DAA

Actualmente existen dos métodos que pueden ser utilizadas para evaluar la atenuación de DAA utilizando sujetos reales: el método REAT, “*Real-Ear-Attenuation-Threshold*” (Atenuación en El Umbral del Oído Real), estandarizada en la norma ANSI/ASA S12.6 y el método MIRE, *Microphone-in-Real-Ear*, (Micrófono en el Oído Real), la cual se encuentra estandarizada en la norma ANSI/ASA S12.42. La metodología MIRE se encuentra además incorporada en la norma internacional ISO 4869-6 y la Europea SS-EN-325-5. Ambas metodologías son utilizadas para evaluar la atenuación de PA tipo orejera, de inserción y los aplicados en un casco de seguridad. Estas metodologías de medición subjetiva y objetiva son sólo dos de las existentes para evaluar el desempeño de los DA.

La metodología REAT es considerada como la mejor opción para realizar la evaluación de atenuación a los PA, debido a que depende de la respuesta subjetiva del sujeto, detectando los cambios en el umbral auditivo de éste. La segunda metodología MIRE depende de la instrumentación para realizar la evaluación de los PA, convirtiéndola

en una metodología objetiva y de menor precisión que la anterior. La figura 4.1 muestra un ejemplo de ensayo con el método REAT y sus resultados.

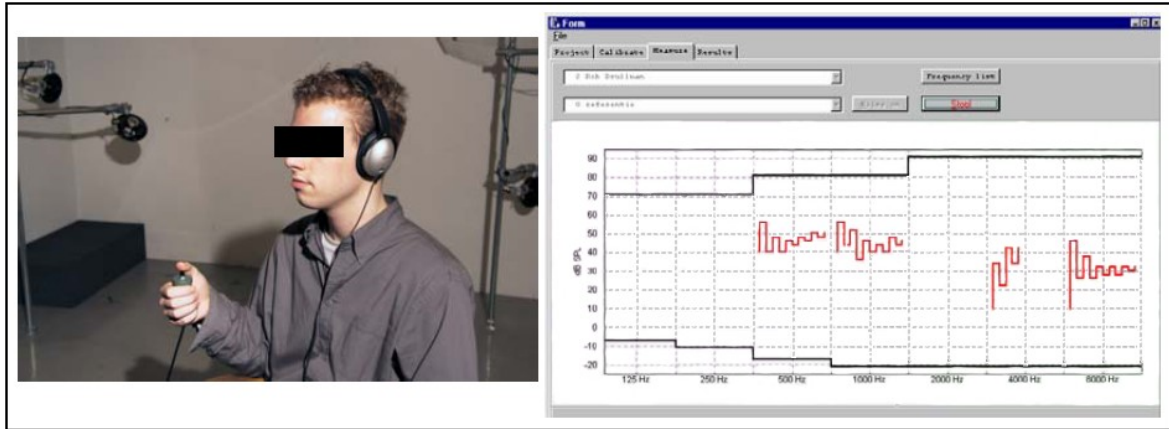


Figura 4.1. Sujeto posicionado para realizar medición con método REAT y ejemplo de ensayo realizado con la metodología REAT. Imagen extraída del trabajo “*Active Noise Reduction (ANR) in Hearing Protection Does it Make Sense For Industrial Applications?*” [Berger, 2010].

Sin embargo, el método REAT no puede ser aplicado para la evaluación de los dispositivos auditivos con CAR estudiados en este trabajo, debido a varios factores que limitan su utilización, tales como: 1) no poseer las instalaciones ni equipos de medición adecuados para realizar tal prueba, 2) el inherente ruido propio (“Siseo”), producido por los dispositivos con CAR, el cual excede el umbral de audición en el rango de frecuencias sobre 2 kHz [Mercy, Tubb y James, 2005] aumentando artificialmente el desempeño de tales dispositivos sobreestimando la atenuación producida, y 3) el efecto de enmascaramiento producido por el ruido fisiológico bajo la condición de oclusión o protegido que puede sobreestimar los resultados de atenuación obtenidos en un rango determinado de frecuencias.

Los conceptos de efecto de enmascaramiento (ME) y ruido fisiológico (PN) son importantes consideraciones que se deben tomar en cuenta a la hora de evaluar los DAA.

Una de las ventajas de la metodología MIRE sobre la REAT es que está no considera la influencia del PN, debido a que el método REAT considera el NPS en dB como parámetro de adquisición de datos, en cambio el método MIRE utiliza como parámetro IL en dB, la que al ser una relación logarítmica elimina la contribución del PN y consecuentemente el ME producido por éste [Perala y Casali, 2009]. Otro factor a favor del MIRE es que este método es realizado en un ambiente sonoro con elevado NPS que excede el efecto del ruido residual (“Siseo”), producido por el sistema de CAR, tornando también despreciable el efecto de enmascaramiento producido por éste y el PN, lo que es una gran ventaja sobre el método REAT. Además, el método MIRE demora menos tiempo en ser realizado en comparación con el REAT (alrededor de cinco minutos versus una hora o más).

Sin embargo existe una gran desventaja del método MIRE puesto que no considera la transmisión del sonido vía conducción ósea y tejido humano sobrestimando los valores de atenuación obtenidos, lo cual ocurre aproximadamente sobre los 2 kHz. Este fenómeno también es agravado por el efecto de oclusión, al igual que el caso del PN en el método REAT. Este concepto será explicado con mayor detalle más adelante.

Cabe aclarar que la metodología MIRE es la metodología más adecuada para evaluar los DAA del presente trabajo, debido a las condiciones de infraestructura y equipos que se disponen, al tiempo que se tiene para realizar los ensayos y a todas las ventajas expuestas anteriormente del MIRE sobre el REAT.

4.1.1. Conducción Ósea

Como fue mencionado en el capítulo anterior, una vez ocluido el oído, ya sea con un dispositivo auditivo PA o Auricular, el sonido es más susceptible a la transmisión o conducción ósea BC (del inglés “*Bones Conduction*”), donde el sonido pasa a través del tejido muscular, huesos, torrente sanguíneo y órganos, pudiendo llegar a producir una atenuación de entre 45 a 55 dB [Gerges y Arenas, 2010].

Para los dispositivos auditivos pasivos, que dependen sólo de las propiedades físicas de sus materiales de construcción para reducir el ruido, no es considerada la transmisión del sonido por esta vía debido a la elevada atenuación producida en este camino. Sin embargo, para los dispositivos auditivos que incorporan el sistema de CAR para reducir el ruido, este factor puede ser decisivo, pues tales dispositivos pueden alcanzar atenuaciones del ruido elevadas inclusive llegando hasta el valor de atenuación de BC. Por lo tanto, a la hora de sacar conclusiones sobre los resultados de atenuación de ruido obtenidos por los dispositivos estudiados en este trabajo, se debe considerar la influencia de este factor y si es que realmente los valores fueron sobreestimados sobre el rango de frecuencias donde se considera que la BC tiene mayor influencia (sobre los 2 kHz).

Hay que tener en cuenta que este concepto no puede ser tomado literalmente, ya que en el fenómeno de la audición están involucrados procesos de conducción ósea, a través de la secuencia de vibración de la membrana timpánica y, consecuentemente, por la cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo). Por eso, para que este concepto preste utilidad, sólo debe considerar los otros caminos que involucran la conducción ósea.

4.2. CONSIDERACIÓN NORMATIVA Y MÉTODO DE EVALUACIÓN

Actualmente existen varias normas que pueden ser consideradas para evaluar los DAA del presente trabajo, la norma Estadounidense ya mencionada ANSI/ASA S12.42 - 2010, que es una revisión de su anterior versión publicada en 1995 y que considera los PA con CAR para ser evaluados con las metodologías objetivas MIRE y ATF (*Acoustic Test Fixture*). Otra norma es la Suisa-Europea SS-EN 352-5/2003 la cual, en comparación con la ANSI, no suministra información sólida y detallada de todas las consideraciones para evaluar en los DAA, y por último la norma ISO 4869-6-2009, que se encuentra en proceso de construcción y que posee el mismo formato que la norma Europea EN-352-5.

Todas estas normas fueron diseñadas para evaluar PAA, lo cual no es una limitación para poder utilizarlas en la evaluación de los DAA del presente trabajo, debido a que estos

comparten una característica física esencial con los PAA especificados en las normas, esto es que ambos son del tipo orejera con copas cubiertas con almohadillas, banda de sujeción por encima de la cabeza y otros accesorios que varían según su aplicación (protección, comunicación y entretenimiento).

La norma ANSI/ASA S12.42/2010 será la norma referente para realizar los ensayos debido a que es la más detallada, entregando todos los pasos a seguir, cómo deben ser realizados, las consideraciones técnicas de los equipos de medición, campo acústico de la sala, acatamientos con los sujetos de prueba y otras. De la norma Europea SS-EN –352-5-2003 sólo será utilizada la información que sea de utilidad para los ensayos.

Los detalles específicos se pueden encontrar directamente en la norma ANSI/ASA S12/2010, por lo que no se incluye esta información en este trabajo.

4.3. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS

En esta sección se mencionan los equipos y materiales utilizados para realizar los respectivos ensayos de atenuación, tomando en consideración todas las recomendaciones y requerimientos de las normas ANSI/ASA S12.42-2010 y SS-EN 352 -5-2003.

Es recomendado que el micrófono de medición se encuentre ubicado lo más cerca posible de la membrana timpánica, para que los datos captados sean lo más representativo posible de la real percepción. Esto se puede lograr con una extensión incorporada en el micrófono, a través de un tubo de sonda. Sin embargo, utilizar esta extensión resulta demasiado incómodo, impide la utilización de PA de inserción que sirvan para proteger durante la condición de no ocluido siendo un riesgo para el sujeto. Además, el micrófono es más susceptible al PN y la BC. Una investigación realizada por Perala y Casalli sobre la posición del micrófono en la evaluación de DAA utilizando la técnica MIRE [Perala y Casali, 2009], utilizando un micrófono de sonda para medir en la posición cercana al tímpano, dio como resultado que no existen diferencias significativas para la obtención del

parámetro IL siendo irrelevante la ubicación del micrófono, lo que respalda la hipótesis propuesta.

Cumpliendo algunas de las recomendaciones especificadas por la norma, para el ensayo se empleó un Micrófono de presión SV 25S y un Dosímetro Acústico SV 102 (ver Figura 4.2).

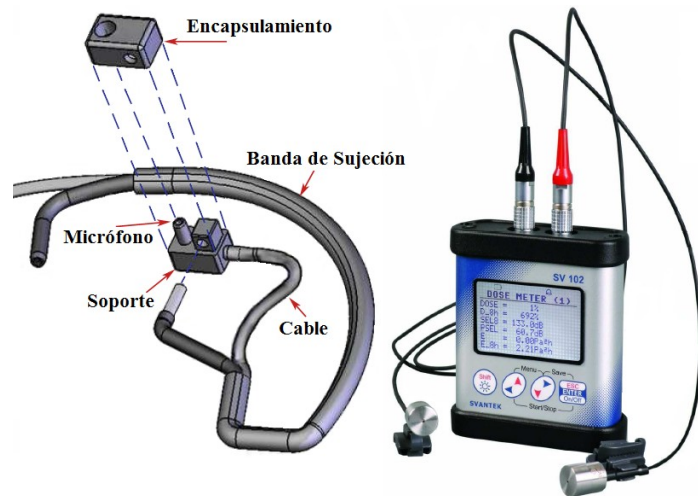


Figura 4.2. Micrófono de presión SV 25S con sus partes especificadas y dosímetro acústico SV 102.

Además, se empleó un calibrador de micrófono GRAS para calibrar el instrumento y varios PA de inserción auto-moldeables para proteger el oído durante la condición no ocluido de las mediciones.

4.3.1. Dispositivos auditivos activos

Todas las recomendaciones dadas por las normas ANSI/ASA 12.42/2010 y SS-EM 352 -5/2002 son para ser aplicadas a dispositivos auditivos de protección, ya sea del tipo orejera, de inserción personalizados o incorporado en un casco de seguridad. Sin embargo, los dispositivos a ser evaluados en el presente trabajo se encuentran aplicados además de la protección a la comunicación y al entretenimiento, y se contó con una muestra para cada aplicación. La norma ANSI/ASA S12.42/2010 recomienda la utilización de cinco muestras de PAA tipo orejera a evaluar, mientras en la norma SS-EN 352-5/2002 recomienda la utilización de cuatro muestras de PAA tipo orejera para ser evaluados. En este trabajo se restringió a utilizar tres muestras de DAA para evaluar, no cumpliendo con la cantidad recomendada por las normas para PAA, debido a que era la cantidad que se disponía. Sin embargo, el hecho de utilizar tres tipos de dispositivos diferentes aplicados a distintas áreas de la protección, comunicación y entretenimiento amplía en cierto grado el rango de estudio de tales normas, limitadas para ser utilizadas solo en PA.

A continuación se darán a conocer los tres tipos de DAA evaluados con los respectivos ensayos bajo la técnica MIRE, presentado algunas de sus características.

4.3.1.1. Protector auditivo activo PAAR 10

El Protector Auditivo Activo PAA, tipo orejera (ver Figura 4.3), fabricado por la empresa Brasileira “TELSATE”, ubicada en la ciudad de Sao Paulo, Brasil, incorpora la tecnología de CAR para reducir el ruido exterior. Según sus fabricantes se adapta automáticamente al ambiente sonoro donde está siendo utilizado, pues el sistema de CAR incorporado está constantemente analizando el ruido ambiente produciendo la señal de anti-ruido adecuada para mayor confort y protección al usuario. Utiliza batería recargable, posee un interruptor para activar manualmente el sistema de CAR, y de sus características técnicas se puede destacar que posee un NRR para la atenuación pasiva de 25 dB y para la parte activa de 20 dB, según el fabricante, considerando una atenuación total de 45 dB.



Figura 4.3. Protector Auditivo Activo Marca TELSATE. En la figura se aprecia un micrófono, pero se encuentra inhabilitado.

4.3.1.2. Auricular con micrófono ANR Digital 9500

Este Auricular con micrófono tipo orejera, es fabricado por la empresa Estadounidense “PELTOR” (ver Figura 4.4). Está compuesto por un sistema de auriculares y micrófono para fines de comunicación que incorpora el sistema de CAR como alternativa adicional para reducir el ruido. En el interior de sus copas incorpora dos altavoces, uno para recibir mensajes de audio y otro para el sistema CAR. Posee dos conectores jack de 6,5 mm balanceado y no balanceado (mono y estéreo), incorpora una unidad de control y configuración externa separada del dispositivo, donde se puede escoger la modalidad de trabajo de éste. Considera tres ambientes sonoros diferentes, en las cabinas de aeronaves (avionetas y helicópteros): “*single*” que hace referencia al ambiente sonoro en una avioneta con un motor de hélice, “*twin*” que hace referencia al ambiente sonoro en la cabina de una avioneta con dos motores y “*heli*” haciendo referencia al ambiente encontrado en la cabina de un helicóptero.

Esta unidad de control externa posee también activación de refuerzos en frecuencias bajas para la señales de entrada de audio, control de volumen de señal de audio independiente para cada copa, entrada de audio mono y estéreo para comunicaciones intra-radial y entrada jack 3,5 mm balanceado (estéreo), para reproducir música o manos libre de

celular. Utiliza baterías AA como fuente de energía eléctrica. Dentro de la especificación técnica mencionada por el fabricante, se especifica un NRR para atenuación pasiva de 28 dB.

Sin embargo, esta unidad de control no posee la opción de activar manualmente el sistema CAR, sólo de escoger las opciones mencionadas anteriormente, lo cual podría significar un problema a la hora de realizar las mediciones. Para poder suplir este inconveniente y determinar a que NPS el sistema CAR de este dispositivo entra en funcionamiento, se realizó en forma separada una serie ensayos, partiendo con un NPS de 75 dB en pasos de 5 dB, hasta determinar el nivel en el cual este dispositivo entraba en funcionamiento, lo cual se verificaba en la pantalla de la unidad de control. Esto ocurrió en los 95 dB. Este NPS será crucial a la hora de escoger la adecuada señal de prueba con la cual se realizarán los ensayos.



Figura 4.4. Auricular con micrófono PELTOR ANR 9500, con su unidad de control externa indicando las opciones del menú.

4.3.1.3. Auriculares Quietcomfort 15

Los Auriculares Quietcomfort 15 tipo orejera son fabricados por la empresa de audio Estadounidense “BOSE”, para fines de entretenimiento musical. Poseen el sistema CAR incorporado dentro de sus copas para reducir el ruido exterior. Poseen también un cable removible con conector balanceado Jack de 3,5 mm para ser conectado a cualquier reproductor de música portátil o celular. Tiene un diseño con almohadillas acolchadas en cada copa para permitir una leve atenuación pasiva. Al igual que el PAA PAAR 10 “TELSATE”, poseen un interruptor externo para activar manualmente el sistema de CAR. Actualmente, son uno de los últimos modelos lanzados al mercado por la empresa “BOSE” (ver Figura 4.5).



Figura 4.5. Auricular Quietcomfort 15 “BOSE” con cancelación activa de ruido.

4.4. CONSIDERACIONES TÉCNICAS

En esta sección se describen las principales consideraciones técnicas para realizar los ensayos de medición de atenuación, según las normas correspondientes SS-EN-352-5-2003 y ANSI/ASA S12.42-2010.

4.4.1. Sujetos

Según las normas ANSI/ASA S12.42-2010 y SS-EN-352-5-2003, se debe considerar las características anatómicas de los sujetos, como el tamaño, forma de la cabeza y pabellón auditivo, de modo que pueda seleccionarse los sujetos adecuados, que no posean una adversidad física o deformidad que le impida realizar el ensayo afectando el correcto ajuste de los DAA.

Antes de participar en los ensayos, se debe realizar una inspección otoscopia al sujeto, de esta manera se determinara si el oído del sujeto está libre de condiciones que puedan afectar el correcto ajuste del DAA o el PA de inserción usado, tales como cantidad excesiva de cerumen, irritación o infección del canal auditivo, congestión nasal, etc. Se debe restringir el uso de cualquier artefacto usado en la cabeza tales como anteojos, aros, sombreros y/o otros que puedan afectar al correcto ajuste del dispositivo.

Para el número de sujetos, la norma ANSI/ASA S12.42-2010 recomienda que al menos diez sujetos deban ser utilizados y la norma SS-EN 352 recomienda un número de ocho sujetos. Para este trabajo se utilizaron diez sujetos de prueba entre hombres y mujeres seleccionados siguiendo con las recomendaciones de la norma ANSI.

4.4.2. Rango dinámico

Para establecer el rango dinámico se siguieron las recomendaciones de la norma ANSI ANSI/ASA 12.42/2010 y SS-EN-352-5-2003 con respecto a la señal de prueba. En el punto de referencia escogido, esta señal de prueba debe ser un ruido aleatorio de banda ancha (ruido rosa o blanco), en cada banda 1/3 octava centrada desde los 100 Hz hasta los 10 kHz, con un NPS en cada banda de 85 dB. También se determina que el NPS en cada banda de 1/3 de octava debe ser por lo menos 60 dB superior al ruido de fondo, con todos los equipos en funcionamiento. La diferencia entre el máximo y el mínimo nivel en las bandas 1/3 octava no debe exceder los 10 dB para las frecuencias centrales del filtro de 100 – 10 kHz.

En el procedimiento para establecer el rango dinámico fue utilizado un ruido blanco de 50 Hz a 10 kHz como señal de prueba, con un NPS inicial total de 80 dB, el cual fue aumentando gradualmente en pasos de 5 dB hasta llegar a 105 dB, que fue el nivel de la señal de prueba utilizado (ver Figura 4.6). Debido a que fue utilizado ruido blanco como señal de prueba para este análisis, el espectro mostrará menos componentes energéticas en las bajas frecuencias, produciendo un decaimiento en la curva en este rango de frecuencias, como se puede apreciar en la Figura 4.6.

El rango dinámico de los equipos de recepción de datos es un factor importante a considerar, debido a que el micrófono que será utilizado en las mediciones posee un NPS total de trabajo de 50 dB. Se utilizó una señal de prueba elevada superando este nivel permitiendo una buena recepción de datos. Otra razón de trabajar con un NPS elevado para realizar los ensayos es por la posible dependencia de nivel de los DAA utilizados y la respuesta del sistema CAR en los dispositivos.

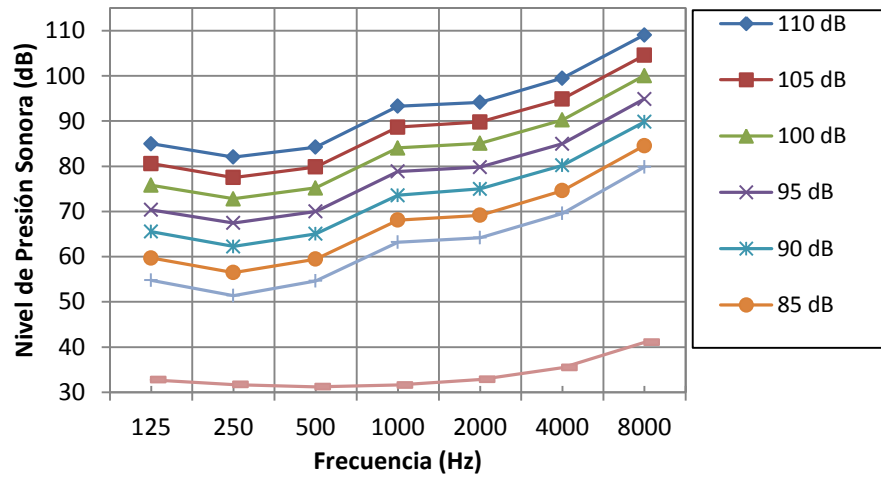


Figura 4.6. Mediciones de NPS con las variaciones de 5 dB entre 80 dB y 110 dB, se puede apreciar también el ruido de fondo de la sala de ensayo en color rosa.

Considerando las recomendaciones antes mencionadas y el análisis de las variaciones del NPS ilustrado, la señal de prueba utilizada es de 105 ± 3 dB. Así, se trabajó con un rango dinámico superior a 40 dB en las frecuencias de 125 Hz a 500 Hz y 60 dB en frecuencias superiores a ésta, presentando un NPS superior a 70 dB en frecuencias bajas (125 Hz a 500 Hz) y superiores a 85 dB en las frecuencias superiores a 500 Hz, cumpliendo de forma satisfactoria con las recomendaciones más importantes de la normas presentadas.

4.4.3. Señal de Prueba y equipos de generación de ruido

El NPS escogido supera por 10 dB al NPS de funcionamiento del sistema de CAR en el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital 9500 PELTOR, garantizando de esta forma el funcionamiento del sistema de CAR en este dispositivo.

Cumpliendo algunos de las recomendaciones de las normas ANSI/ASA S12.42-2010, los equipos utilizados para generar el ruido fueron un Computador portátil Dell modelo Vostro 1520 con software MATLAB y un Amplificador de Potencia B&K Tipo 2706 (ver Figura 4.7).



Figura 4.7. Computador portátil generador de ruido Blanco con Software MATLAB y Amplificador de potencia Bruel & Kjaer.

4.4.4. Campo sonoro y sala de ensayo

Los ensayos de atenuación fueron realizados en la cámara acústica LARI ubicada en el Laboratorio de vibraciones y acústica de la Universidad Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. Esta cámara está certificada para realizar ensayos con PA según la técnica MIRE, cumpliendo con las condiciones de campo acústico y directividad recomendados por las normas ANSI/ASA S12.42-20010. La disposición experimental se ilustra en la Figura 4.8. La Figura 4.9 muestra la cámara de ensayo LARI desde distintas perspectivas.

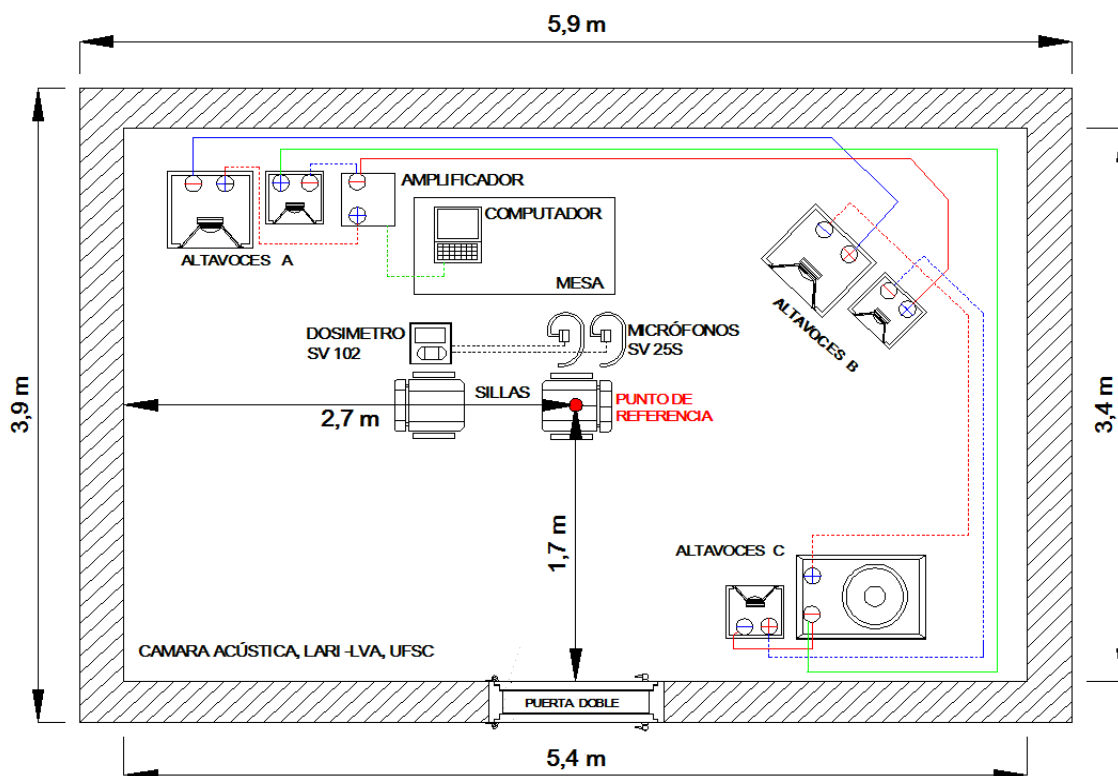


Figura 4.8. Configuración adoptada para los ensayos en la cámara acústica LARI, indicando el punto de referencia escogido para realizar las mediciones.

Dentro de las recomendaciones de la norma ANSI/ASA S12.42-2010, en relación a la uniformidad para el campo sonoro, es recomendado realizar mediciones del NPS en seis

posiciones en torno a la posición de la cabeza del sujeto de prueba ± 15 cm, frente, atrás, arriba, abajo, izquierda y derecha (ver Figura 4.10). La diferencia entre cada posición debe mantenerse en 5 dB como máximo para cada banda de frecuencia y la diferencia entre la posición izquierda y derecha no debe exceder los 3 dB.

Para cumplir con la recomendación mencionada en el párrafo anterior para la uniformidad del campo sonoro, fueron realizadas las respectivas mediciones en las cuales se fue variando la posición utilizando un sujeto humano para esto. Los gráficos obtenidos para este ensayo son ilustrados en la Figura 4.11.



Figura 4.9. Cámara de acústica de ruido industrial LARI, del Laboratorio de Acústica y Vibraciones de la UFSC, Florianópolis, Brasil.

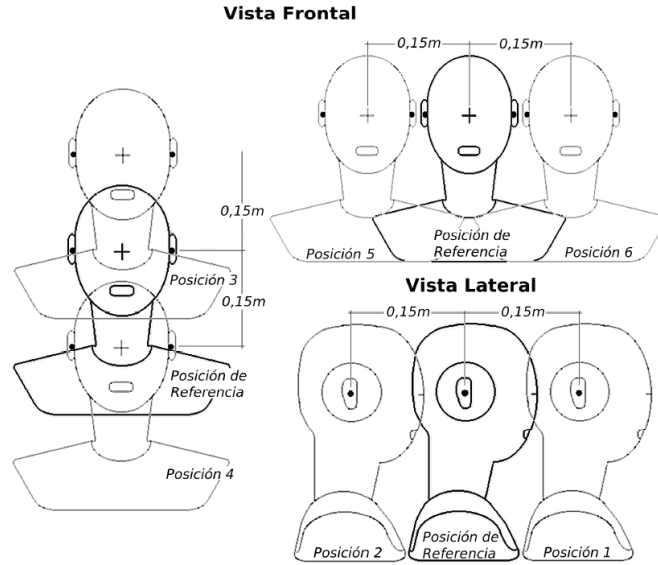


Figura 4.10. Posiciones relativas en torno a la posición de la cabeza del sujeto.

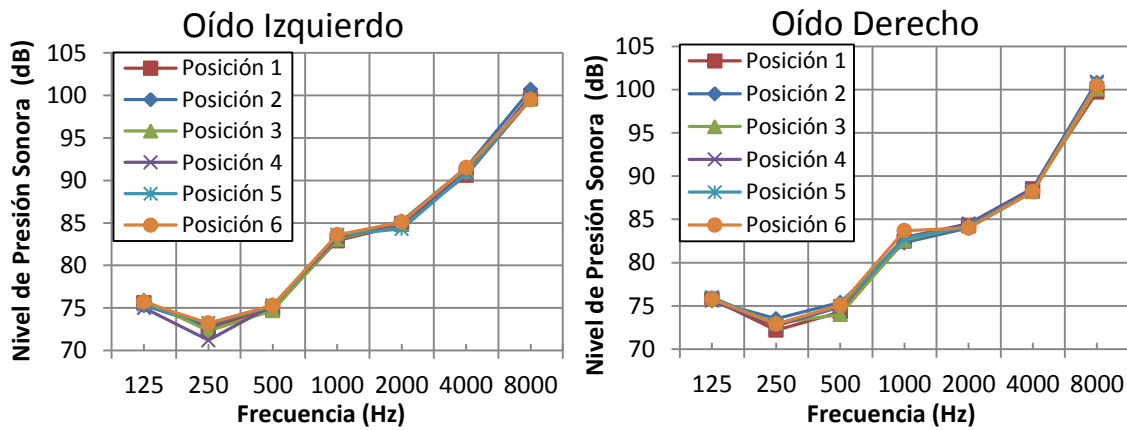


Figura 4.11. Resultados de las mediciones de NPS realizado en las diferentes posiciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, frente, atrás, arriba, abajo, izquierda y derecha, respectivamente, para el oído izquierdo y derecho.

Como se puede apreciar en la Figura 4.11, las curvas se encuentran dentro del rango aceptable presentando diferencias máximas de 2 dB sólo en la frecuencia de 125 Hz, entre

las diferentes posiciones, cumpliendo de forma satisfactoria con la recomendación de la norma de 5 dB.

La ubicación del micrófono de medición y el PA de inserción utilizado, que posee una atenuación promedio con un NRRf de 18 dB, se indican en la Figura 4.12, de acuerdo a la norma ANSI/ASA S12.42-2010.

4.5. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Una vez determinada y comprobada las características del campo sonoro y la elección de la adecuada señal de prueba a utilizar en los ensayos, es necesario establecer una secuencia de medición en la cual será indicada paso a paso como debe ser realizada las mediciones para evaluar el desempeño en la atenuación de ruido para los DAA. Este procedimiento se encuentra explicado con detalle en la norma ANSI/ASA S12.42-2010 para los Protectores Auditivos Activos PAA tipo orejera, el que de igual manera puede ser utilizado para los DAA estudiados en este trabajo.

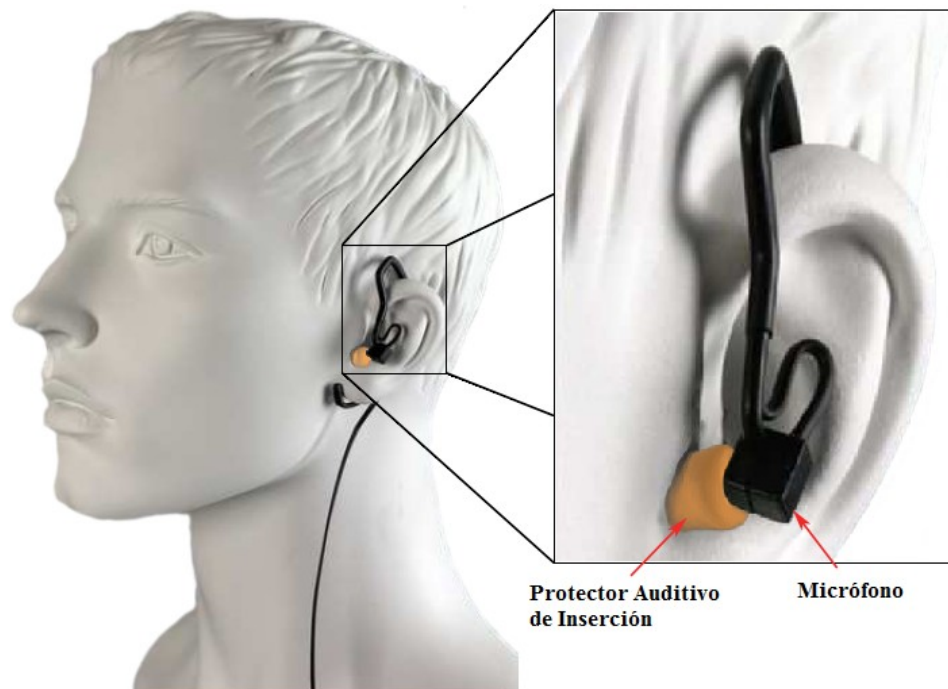


Figura 4.12. Esquema de localización de micrófono de medición y protector auditivo de inserción moldeable para la técnica MIRE.

Antes de mencionar la secuencia de medición, es necesario dejar claro la terminología y parámetros adoptados y utilizados para evaluar la atenuación de los DAA de este trabajo.

4.5.1. Atenuación de ruido

Desde su concepción los PA son sometidos a una serie de evaluaciones antes de ser lanzados al mercado, tales como ensayos de ajuste, mediciones de la fuerza ejercida por la banda de sujeción para el caso del tipo orejera, condiciones máximas de temperatura y humedad para un correcto funcionamiento, evaluación de cada material involucrado en su construcción, etc. Sin embargo, la evaluación más importante es la atenuación de ruido que puedan producir, esto toma mayor trascendencia para aquellos dispositivos auditivos que poseen el sistema de CAR incorporado.

La respuesta objetiva con la técnica MIRE se basa en la utilización del parámetro Pérdida de Inserción IL, el cual es de la diferencia aritmética en dB entre las mediciones de los NPS medidos con los micrófonos en dos condiciones abierto (no ocluido) y cerrado (ocluido), con el sistema de CAR encendido (on) y apagado (off).

El parámetro de IL puede ser definido de dos maneras, la primera a través de la diferencia aritmética de los NPS en la condición abierta y cerrada y a través de la relación logarítmica entre las presiones acústicas en el tímpano en la condición abierta y cerrada, tal como se puede apreciar en la ecuación (2), que se determina para cada banda de octava. En la **Figura 4.13** es ilustrado el esquema de ubicación de las presiones acústicas y NPS.

$$IL = L_o - L_c = 10 \log \left(\frac{P_3}{P'_3} \right) \quad (2)$$

donde:

L_o : Nivel de presión sonora en la condición abierto (no ocluido)

L_c : Nivel de presión sonora en la condición cerrada (ocluido).

P_3 : Presión sonora en el tímpano en la condición abierto.

P'_3 : Presión sonora en el tímpano en la condición cerrado

En la definición del IL, la obtención de las presiones acústicas (P_3) y (P'_3), ilustradas en la Figura 4.13, resultan a veces complicadas de medir. Para evitar esto, se usan las presiones (P_2) y (P'_2), con lo cual se define

$$IL' = L'_o - L'_c = 10 \log \left(\frac{P_2}{P'_2} \right) \quad (3)$$

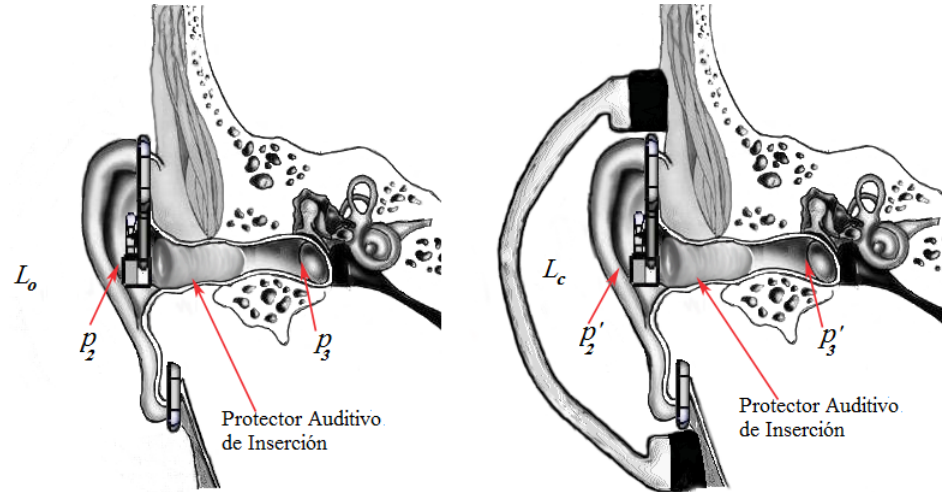


Figura 4.13. Esquema ilustrativo indicando los puntos de ubicación de las presiones acústica y NPS en la condición abierto y cerrado.

Debido a la evaluación de PA con el sistema de CAR, la norma ANSI/ASA S12.42-2001 incorpora la consideración de cuatro variantes del parámetro de IL, cuya nomenclatura abreviada será definida en inglés, debido al carácter universal del idioma.

1. **Perdida de Inserción Pasiva, PIL** (“*Passive insertion loss*”): Se aplica para evaluar los PA convencionales o pasivos los cuales dependen sólo de los materiales de construcción para reducir el ruido y también para los DAA en la condición cerrada con el sistema CAR apagado. Se define como la diferencia, $L_o - L_{c-off}$ entre los NPS en las condiciones abierto (L_o) y cerrado con el sistema CAR apagado (L_{c-off}).
2. **Perdida de Inserción Activa, AIL** (“*Active Insertion loss*”): Es aplicada sólo para los dispositivos con el sistema de CAR incorporado y entrega el desempeño del sistema de CAR. Es definida como la diferencia, $L_{c-off} - L_{c-on}$ entre los NPS medidos en la condición cerrado con el sistema CAR apagado (L_{c-off}) y encendido (L_{c-on}).
3. **Perdida de Inserción Total, TIL** (“*Total Insertion Loss*”): Está definida como la diferencia, $L_o - L_{c-on}$ entre los NPS medidos en la condición abierta y cerrada, con el sistema de CAR encendido.
4. **Perdida de Inserción Total para Dispositivos Auditivos Activos con dependencia de Nivel, TIL_{spl}** : Es utilizado para los DAA dependientes del NPS para producir atenuación de ruido y que incorporen un control de volumen de ganancia externo al exterior de la copa, que no es el caso de los dispositivos analizados en este trabajo. Es definido como la diferencia, $L_{o-75} - L_{c-75}, L_{o-85} - L_{c-85}, L_{o-95} - L_{c-95}, L_{o-105} - L_{c-105}$, de cuatro NPS medidos de 75 dB, 85 dB, 95 dB, 105 dB, en las diferentes condiciones abierto y cerrado.

4.5.2. Secuencia de medición

De acuerdo a la metodología objetiva MIRE adoptada, son descritas dos secuencias de medición para la adquisición de los NPS en bandas de octava, en las diferentes condiciones, para la obtención de los parámetros (PIL, AIL y TIL), los cuales cuantificarán el desempeño de los DAA evaluados. Antes de realizar los ensayos se debe verificar las recomendaciones de la sección con respecto a los sujetos de prueba (ver capítulo 4.4.1 Sujetos). Una vez corroboradas las recomendaciones e indicaciones mencionadas en la norma ANSI/ASA S12.42-2010 se procede a realizar la secuencia de medición escogida, descrita en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Secuencia de medición adoptada de la norma ANSI/SAS S12.42/2010 para realizar las mediciones de los parámetros PIL, AIL y TIL

Secuencia (Abierto Cerrado, Abierto Cerrado) “ACAC”
a) Activar señal de Prueba.
b) Medición de oído abierto, L_0 .
c) Colocación y ajuste del DAA a evaluar.
d) Tiempo de espera de 120 ± 5 s para ajuste final del DAA.
e) Medición en condición cerrada (oclusión) con sistema CAR off, L_{c-off} .
f) Encendido del sistema CAR con el interruptor. En caso de DAA “PELTOR” encendido de la unidad de control.
g) Espera de 10 s con señal de prueba activada.
h) Medición en Condición Cerrada con sistema CAR on, L_{c-on} .
i) Apagado del Sistema CAR y remover DAA.
j) Verificación de micrófonos y recomendaciones.
Repetir los pasos de (a) – (j), midiendo los NPS para la condición cerrado, cerrado/off y cerrado/on por segunda vez.

Al final se obtendrá para cada sujeto un total de 22 mediciones de NPS para cada banda de octava en las diferentes condiciones, con 6 mediciones distribuidas para los DAA “TELSATE” y “BOSE” y 10 mediciones para el DAA “PELTOR”.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE ATENUACIÓN DE RUIDO

Para el reporte de los resultados, serán presentados los parámetros PIL, AIL y TIL para cada DAA evaluado. Los parámetros considerados serán entregados en bandas de octava desde 125 Hz hasta 8 kHz. Las bandas de frecuencia de 35,5 Hz y 63 Hz no fueron consideradas para la presentación de los resultados, debido a que sus valores en tales frecuencias no entregan una representación coherente de la atenuación de ruido, produciendo en la mayoría de los casos una atenuación negativa en tales frecuencias. Esto puede atribuirse a la limitación de los equipos de medición utilizados o a efectos acústicos perjudiciales producidos en la cavidad amplia de la copa del dispositivo (resonancias, interferencia no destructiva, etc.).

En todos los resultados entregados se incorpora también la desviación estándar en dB.

El objetivo de proporcionar estos tres parámetros, es que cada uno de ellos entrega una contribución específica en la reducción del ruido producido por estos dispositivos. El parámetro PIL da cuenta de la cantidad de atenuación pasiva producida, la cual dependerá sólo de los componentes usados en la fabricación de los dispositivos (almohadillas, espuma absorbente, material de las copas, etc.). El parámetro AIL da cuenta de la atenuación activa producida por el sistema CAR, que depende de los componentes eléctricos, transductores electro-acústicos, tipo de filtro implementado. Finalmente, el parámetro TIL representa la contribución de la atenuación pasiva más la activa, dependiendo de todo el conjunto de componentes destinados a la reducción del ruido.

A continuación, se entregan los resultados para cada dispositivo aplicando la técnica MIRE, en forma tabulada y gráfica.

5.1.1. Protector auditivo activo PAAR 10 TELSATE

5.1.1.1. Pérdida de inserción pasiva PIL

Tabla 5.1. Valores del promedio de Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TELSATE”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
MIRE -PIL (dB)	9,8	18,8	20,7	30,9	32	36	37
Desviación Estándar (dB)	2,2	2,2	1,1	2,8	2	1,7	3,5

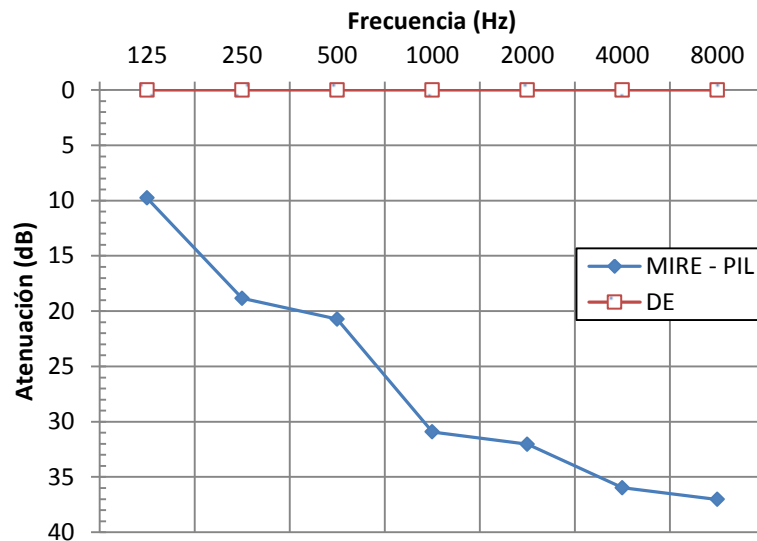


Figura 5.1. Promedio de la Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TELSATE”.

5.1.1.2. Pérdida de Inserción Activa AIL

Tabla 5.2. Valores del promedio de Pérdida de Inserción Activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TELSATE”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
MIRE - AIL (dB)	8,2	12	10,4	-3,4	-4,3	-0,4	0,4
Desviación Estándar (dB)	0,5	0,4	0,5	0,6	0,8	0,7	1

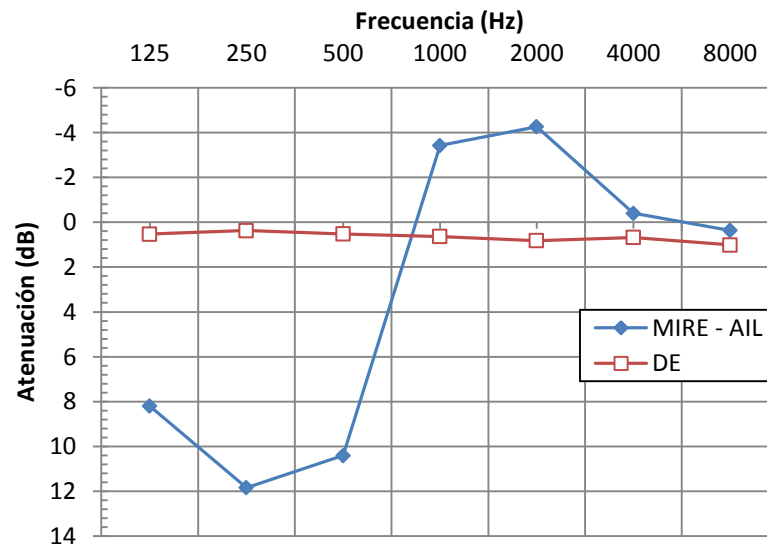


Figura 5.2. Promedio de la Pérdida de Inserción Activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TELSATE”.

5.1.1.3. Pérdida de Inserción Total TIL

Tabla 5.3. Valores del promedio de Pérdida de Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TELSATE”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
MIRE - TIL (dB)	18	30,7	31,1	27,5	27,8	35,6	37,4
Desviación Estándar (dB)	2,5	2	1	2,6	2,4	1,8	3,4

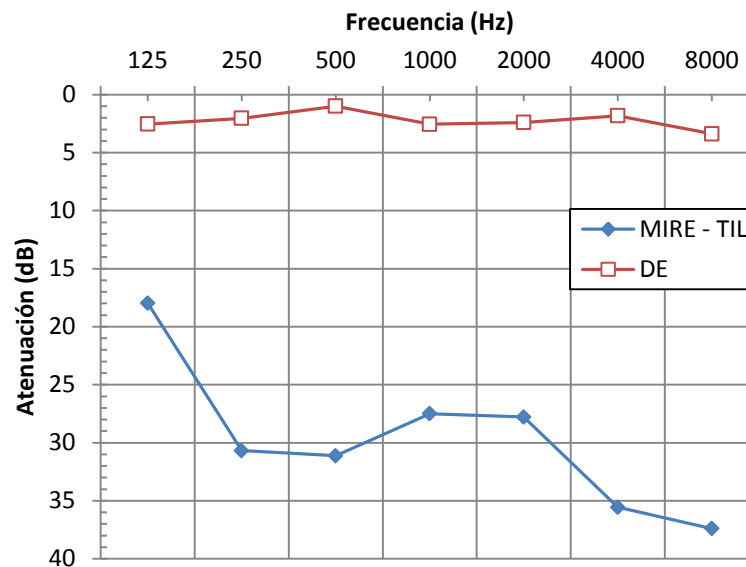


Figura 5.3. Promedio de la Pérdida de Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TELSATE”.

5.1.1.4. Parámetros PIL, AIL, TIL y NPS Medidos

A modo de realizar un análisis comparativo se presentaran los tres parámetros PIL, AIL y TIL esbozados en un solo gráfico. Conjuntamente serán presentados los resultados de las mediciones del promedio del NPS para los diez sujetos de prueba medidos en las tres condiciones (Abierto, Cerrado – off, Cerrado – on).

Tabla 5.4. Valores del Promedio de los Niveles de Presión Sonora en dB para los diez sujetos de prueba, en las tres condiciones (Abierto L_o , cerrado apagado L_{c-off} , cerrado encendido L_{c-on}), para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TELSATE”.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_o (dB)	78,6	76,3	78,4	86,8	88,4	94,7	104,0
L_{c-off} (dB)	68,8	57,5	57,7	55,8	56,4	58,7	67,0
L_{c-on} (dB)	60,6	45,7	47,3	59,3	60,7	59,1	66,6

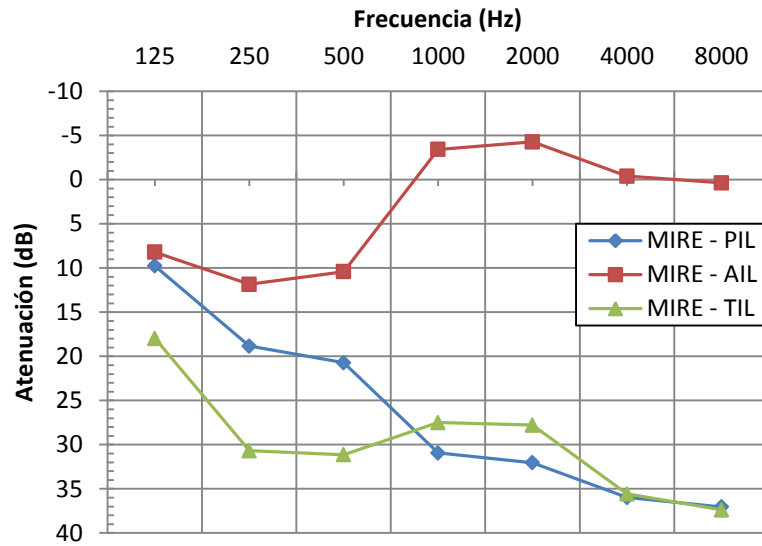


Figura 5.4. Parámetros de Pérdida de Inserción PIL, AIL y TIL para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TELSATE”.

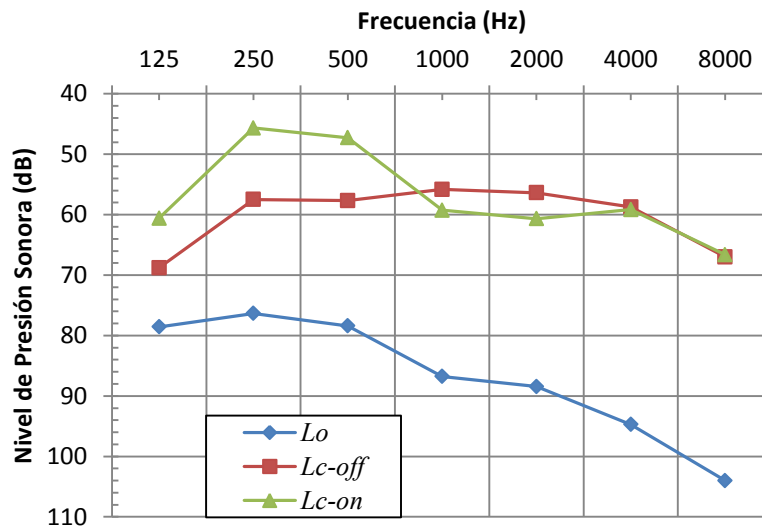


Figura 5.5. Promedio de los niveles de presión sonora, medido en las tres condiciones (Abierto L_o , cerrado apagado L_{c-off} , cerrado encendido L_{c-on}) en los diez sujetos de prueba, para el Protector Auditivo Activo PARA 10 “TELSATE”.

5.1.1.5. Discusión de los resultados

Con respecto a la PIL, el PAA PAAR 10 “TELSATE” presenta una atenuación con una tendencia lineal creciente con el aumento de la frecuencia desde los 125 Hz hasta 8 kHz, partiendo con un mínimo de 8,9 dB en 125 Hz, hasta llegar a un máximo 37 dB en 8 kHz. Este es un comportamiento esperado para los PA convencionales o pasivos, que presentan mayor atenuación en el rango de frecuencias altas (ver Figura 5.1). El parámetro de AIL, presenta una ganancia positiva desde 125 Hz hasta 850 Hz, aproximadamente (ver Figura 5.2), con el máximo de atenuación de 12 dB en los 250 Hz. Entre las frecuencias de 1 kHz y 4 kHz exhibe una atenuación negativa, lo cual indica un aumento del NPS de 3 dB en promedio al encender el sistema CAR en este rango (ver Tabla 5.2). Este fenómeno puede atribuirse a la incorporación de elementos electrónicos y acústicos que conforman el sistema de CAR dentro de la copa del dispositivo, los cuales pueden degradar la atenuación en las frecuencias altas [Berger, 2002].

Esta atenuación negativa es relativamente pequeña, con un promedio aproximado de 3 dB. En algunos casos se presenta con un mínimo de ganancia negativa y en otros es sustituida por una ganancia nula. También se puede atribuir al comportamiento del sonido en frecuencias altas dentro de un recinto, como es el caso de la copa del dispositivo, en el cual se pueden generar reflexiones internas, resonancias e interferencias constructivas donde el anti-ruido generado por el sistema puede ser sumado con el ruido exterior. Este comportamiento de la reducción activa del ruido, representado por AIL, puede ser apreciado en la mayoría de los dispositivos auditivos tipo orejera con la incorporación del sistema de CAR. El parámetro TIL representa la contribución de la componente pasiva y activa de atenuación del ruido. Se puede apreciar que en las frecuencias bajas, en el rango de 125 Hz a 850 Hz, el aporte positivo de la atenuación activa es adicionado al aporte pasivo (ver Figura 5.3). Por otro lado, el aporte negativo es restado del aporte pasivo disminuyendo el rendimiento de la atenuación de ruido, en el rango de 850 Hz hasta 4 kHz, con una disminución máxima de 3 dB.

En relación a la desviación estándar, los parámetros de PIL y TIL no presentan grandes diferencias, entregando valores de 2,2 dB en 125 Hz, 1,1 dB en 500 Hz y 3,4 dB en 8 kHz, lo cual indica un grado de dispersión moderado en relación al promedio de los valores de PIL y TIL. En el caso de la desviación estándar del parámetro de AIL, esta presenta valores por debajo de la unidad (ver Tabla 5.2), lo cual indica que los valores se encuentran bastante cercanos al promedio. Esto se puede atribuir a la poca sensibilidad que presenta el sistema de CAR a los cambios de impedancia acústica que han descrito anteriores autores [Herman y Steeneken, 2001], el cual es ocasionado por la colocación y ajuste de los dispositivos en los diferentes sujetos, que poseen diferentes características fisiológicas (tamaño de cabeza, cabello, tamaño de oreja, estatura, etc.).

5.1.2. Auricular con micrófono activo ANR Digital 9500 “PELTOR”

Para este dispositivo en particular se realizó una distinción en la presentación de los resultados, debido a las tres modalidades que presenta como ambiente sonoro de trabajo: en la cabina de un helicóptero (*heli*), aeroplano de un motor (*single*) y aeroplano de dos motores (*twin*).

5.1.2.1. Pérdida de Inserción Pasiva PIL

Tabla 5.5. Valores del promedio de Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
MIRE - PIL (dB)	8,7	16,4	26,3	34,2	34,7	34,3	34,7
Desviación Estándar (dB)	2,3	2,9	3,1	2,6	1,5	1,8	5,3

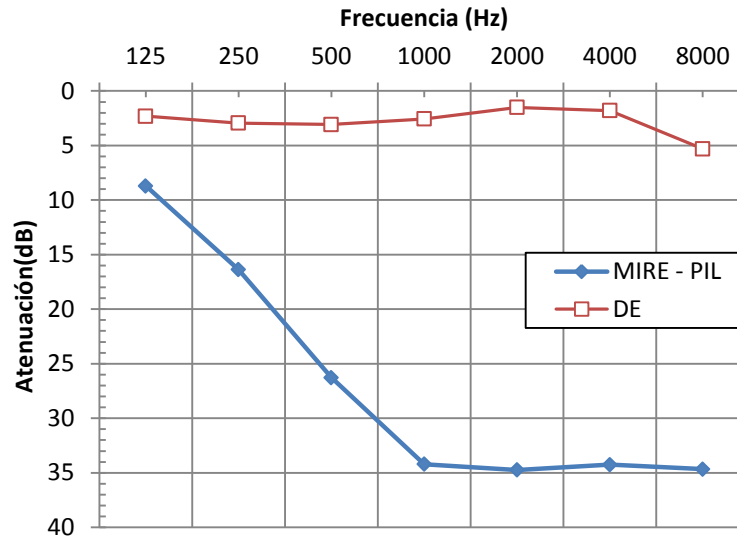


Figura 5.6. Promedio de la Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR”.

5.1.2.2. Pérdida de inserción Activa AIL

Tabla 5.6. Valores del promedio de Pérdida de Inserción Activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR” en cada modalidad de funcionamiento (*Heli*, *Single*, *Twin*), en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
MIRE-AIL - Heli (dB)	11	5	-1,1	-1,6	-0,9	-1	-0,4
MIRE-AIL - Single (dB)	11	5	-1	-1,5	-0,9	-0,9	-0,3
MIRE-AIL - Twin (dB)	11	5,2	-0,7	-1,2	-0,8	-0,9	0,1
Desviación Estándar (dB) - Heli	1,8	1,9	1,7	1,7	1,5	1,8	1,8
Desviación Estándar (dB) - Single	1,9	1,9	1,7	1,6	1,6	1,9	1,8
Desviación Estándar (dB) - Twin	1,7	1,6	1,3	1,2	1,6	1,4	1,5

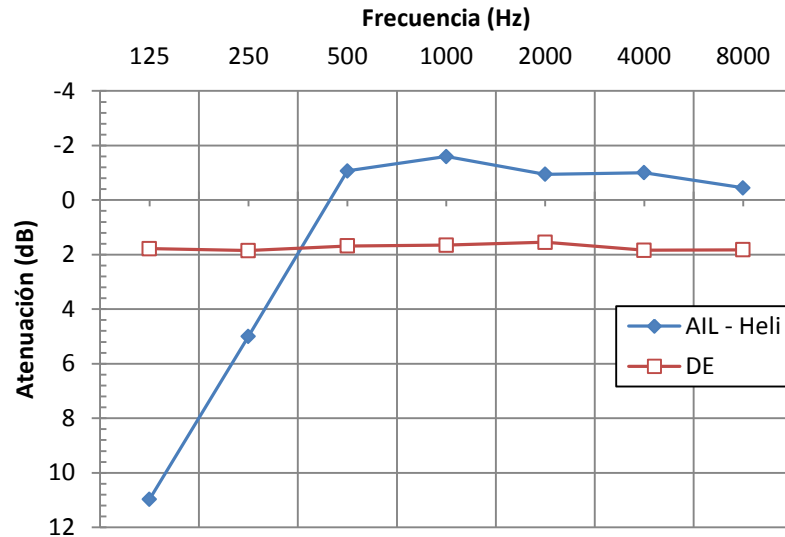


Figura 5.7. Promedio de la Pérdida de Inserción Activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR” en la modalidad de funcionamiento helicóptero (*heli*).

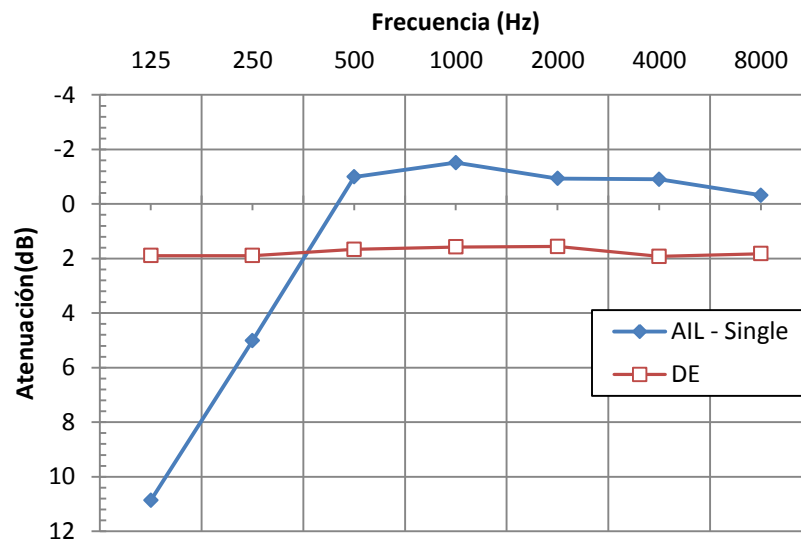


Figura 5.8. Promedio de la Pérdida de Inserción Activa (AIL) y Desviación Estándar (DE), para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR” en la modalidad de funcionamiento aeroplano con un motor (*Single*)

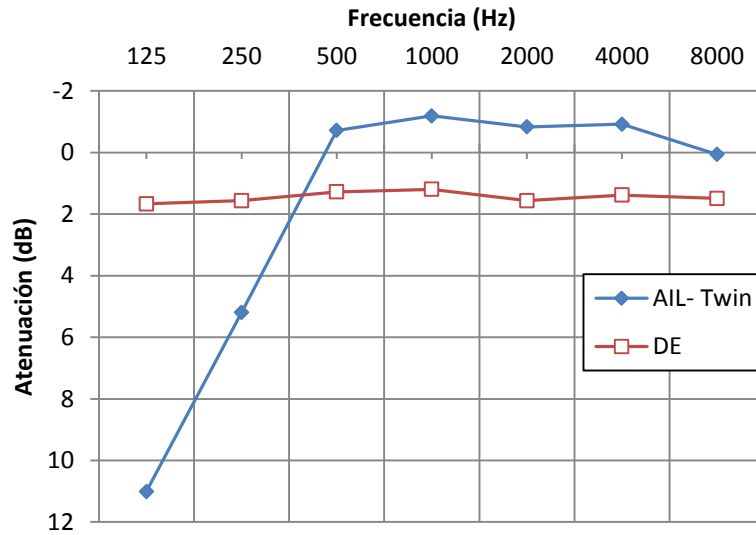


Figura 5.9. Promedio de la Pérdida de Inserción Activa (AIL) y Desviación Estándar (DE), para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR” en la modalidad de funcionamiento aeroplano con dos motores (*Twin*)

5.1.2.3. Pérdida de Inserción Total TIL

Tabla 5.7. Valores del promedio de Pérdida de Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
MIRE-TIL - Heli (dB)	20	21,4	25,2	32,6	33,8	33,3	34,2
MIRE-TIL - Single (dB)	20	21,4	25,3	32,7	33,8	33,4	34,4
MIRE-TIL - Twin (dB)	20	21,6	25,6	33	33,9	33,3	34,7
Desviación Estándar (dB) - Heli	2,6	2,8	2,9	2,8	1,4	1	4,7
Desviación Estándar (dB) - Single	2,7	2,8	2,9	2,8	1,4	1	4,9
Desviación Estándar (dB) - Twin	2,7	2,7	2,9	2,6	1,4	0,9	4,7

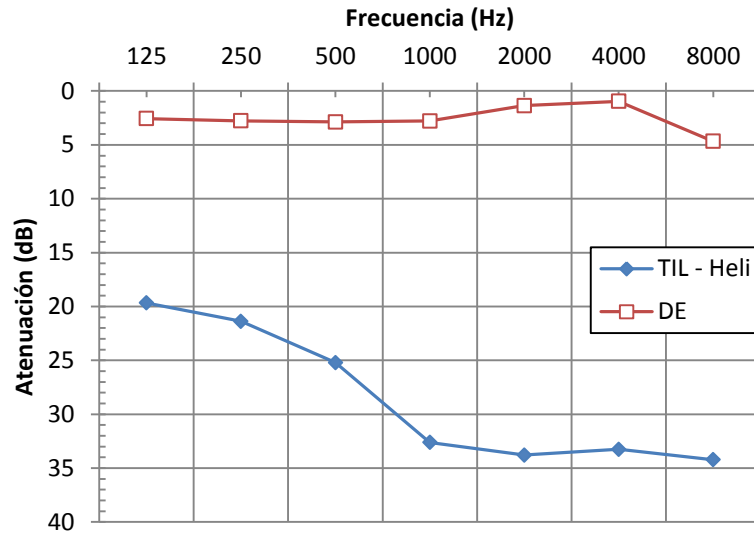


Figura 5.10. Promedio de la Pérdida de Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE), para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR” en la modalidad de funcionamiento helicóptero (*Heli*).

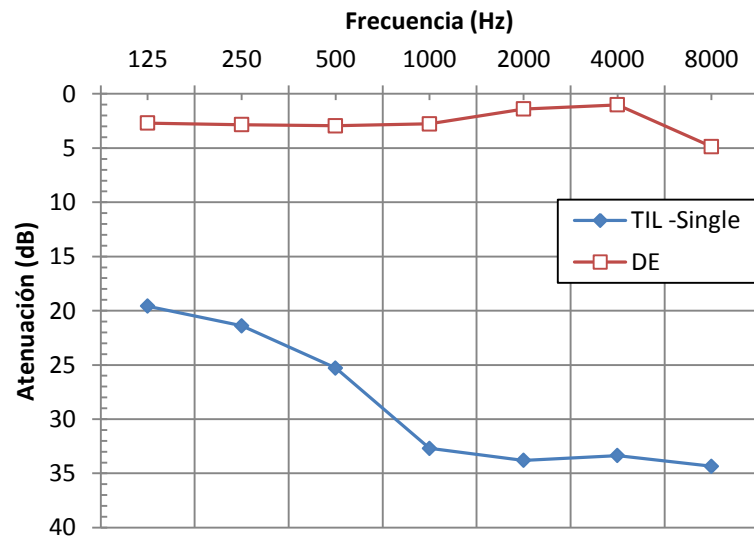


Figura 5.11. Promedio de la Pérdida de Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE), para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR” en la modalidad de funcionamiento aeroplano con un motor (*Single*).

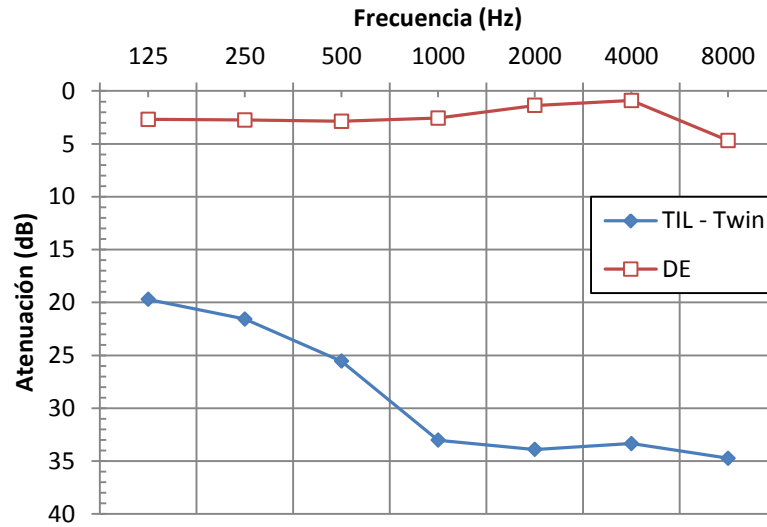


Figura 5.12. Promedio de la Pérdida de Inserción TIL (TIL) y Desviación Estándar (DE), para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR” en la modalidad de funcionamiento un aeroplano con dos motores (*Twin*).

5.1.2.4. Parámetros PIL, AIL, TIL y NPS medidos

Aquí se presentan los resultados de todos los parámetros obtenidos PIL, AIL y TIL para las tres modalidades disponibles en el dispositivo en un gráfico, a modo de realizar un análisis comparativo, al igual que las mediciones de NPS en las tres condiciones.

Tabla 5.8. Valores del Promedio de NPS medidos en las diferentes condiciones (abierto L_o , cerrado apagado L_{c-off} y cerrado encendido L_{c-on}), para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR” en las tres diferentes modalidades (*Heli*, *Single* y *Twin*) en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_o (dB)	78,2	75,9	78,0	86,5	88,1	94,7	103,9
L_{c-off} (dB)	69,5	59,6	51,7	52,3	53,4	60,4	69,2
$L_{c-on} - Heli$ (dB)	58,5	54,6	52,8	53,9	54,3	61,4	69,7
$L_{c-on} - Single$ (dB)	58,6	54,5	52,7	53,8	54,3	61,3	69,5
$L_{c-on} - Twin$ (dB)	58,5	54,4	52,4	53,5	54,2	61,3	69,2

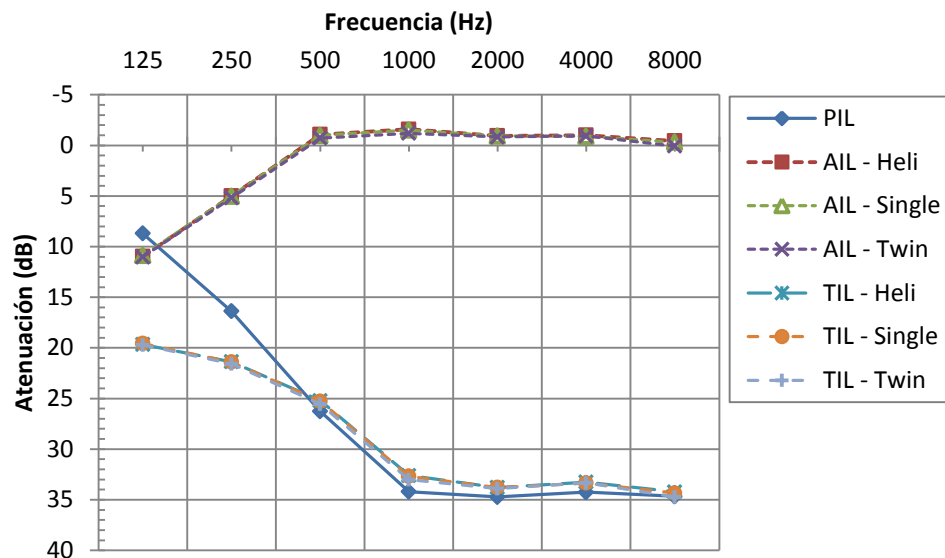


Figura 5.13. Promedio de los parámetros PIL, AIL y TIL para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital “PELTOR” en las tres diferentes modalidades (*Heli*, *Single* y *Twin*).

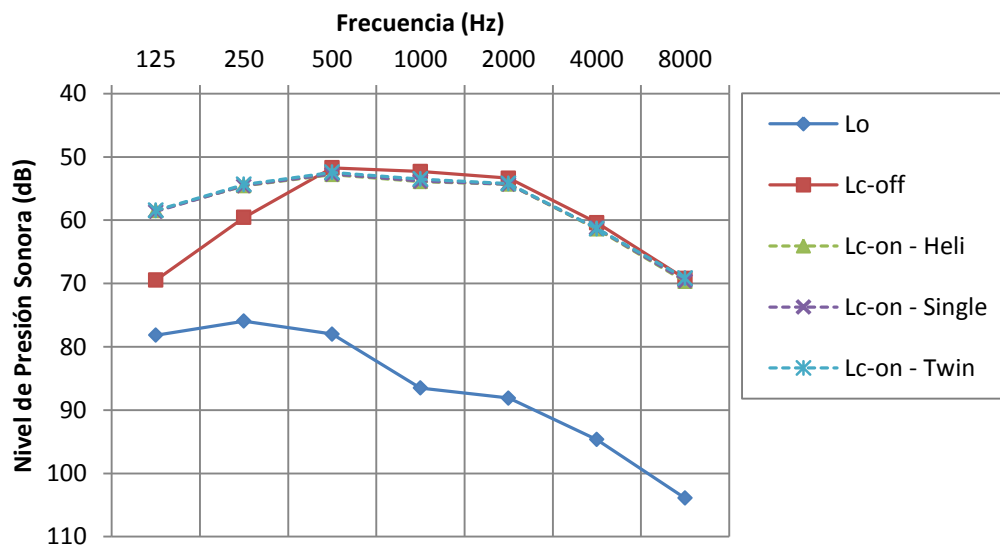


Figura 5.14. Promedio de niveles de presión sonora medidos en las diferentes condiciones, (Abierto L_o , cerrado apagado L_{c-off} , cerrado encendido L_{c-on}) y en las tres modalidades disponibles (*Heli*, *Single* y *Twin*), para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital 9500 “PELTOR”.

5.1.2.5. Discusión de los resultados

En este dispositivo utilizado para fines de comunicación, el parámetro PIL presenta un comportamiento lineal con una atenuación pasiva creciente desde 8 dB en 125 Hz hasta 34 dB en 1 kHz. Desde 1 kHz hasta los 8 kHz mantiene un comportamiento constante con un valor de 34 dB (ver Figura 5.6). Este comportamiento de atenuación constante a partir de 1 kHz, no es usual en los dispositivos de atenuación pasiva, aunque en algunos casos también se ha observado. Con respecto al parámetro AIL, éste presenta una tendencia lineal decreciente de la atenuación activa, desde 125 Hz hasta 450 Hz, aproximadamente, con un valor máximo de atenuación activa de 11 dB aportado por el sistema CAR en 125 Hz (ver Figura 5.7, 5.8 y 5.9) . Entre el rango de frecuencias de 450 Hz hasta los 8 kHz presenta una ganancia negativa de atenuación, el cual es un comportamiento esperado para estos DAA. Las posibles causas de este fenómeno ya fueron explicadas en la sección anterior para el caso del PAA PAAR 10 “TELSATE”. En relación al funcionamiento de las distintas modalidades ofrecidas por el dispositivo (*Heli, Single, Twin*), estas no muestran diferencias relevantes entre sí para el caso del parámetro AIL (ver Figura 5.13), presentando prácticamente los mismos valores de atenuación activa en las tres modalidades sin diferencias significativas. Con respecto al parámetro TIL, al igual que el caso anterior, son evidenciados los aportes pasivos y activos para la atenuación del ruido. Este ilustra una ganancia en las frecuencias bajas de 125 Hz a 1 kHz y una pequeña disminución en frecuencias altas de 1 kHz a 8 kHz, que corresponden a la contribución del CAR (ver Figura 5.13).

Por otro lado, la desviación estándar se comporta de forma similar al caso del PAA mencionado anteriormente, con valores similares en los parámetros PIL y TIL, con máximos de 5 dB aproximadamente en 8 kHz y mínimos de 2 dB en 125Hz, indicando un grado de dispersión de los datos moderado con respecto al promedio, con las diferencias más grandes ubicadas en los 8 kHz. Para el caso de la desviación estándar de AIL acontece lo mismo que el caso del PAA PARA 10 “TELSATE”, con valores mínimos no mayores a 2 dB, lo que indica también un grado de dispersión moderado.

5.1.3. Auricular con cancelación de ruido Quietcomfort 15 BOSE

5.1.3.1. Pérdida de inserción pasiva PIL

Tabla 5.9. Valores del promedio de Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
MIRE - PIL (dB)	-2,1	0,2	8,2	15,0	20,8	28,5	28,1
Desviación Estándar (dB)	0,5	1,3	2,1	1,8	2,2	2,9	5,4

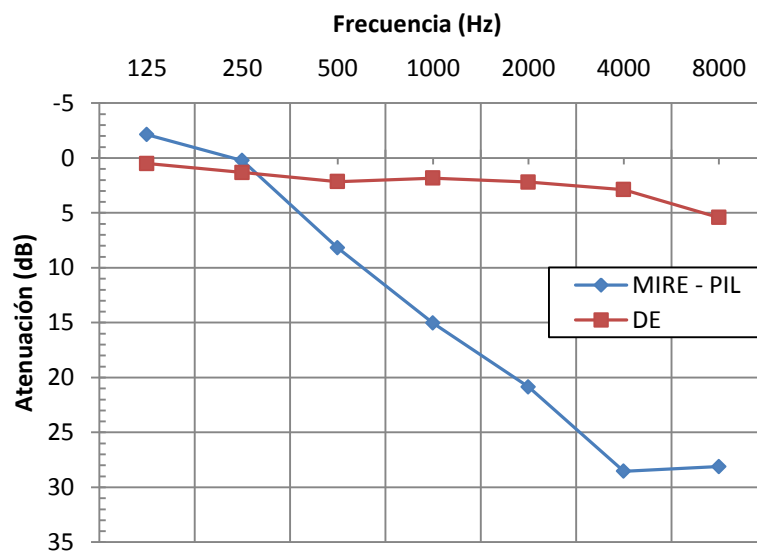


Figura 5.15. Promedio de Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) en para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE”.

5.1.3.2. Pérdida de inserción activa AIL

Tabla 5.10. Valores del promedio de Pérdida de Inserción Activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
MIRE - AIL (dB)	27,0	22,4	14,7	2,0	-1,9	-0,3	0,3
Desviación Estándar (dB)	4,4	2,7	1,6	1,1	0,8	0,5	0,6

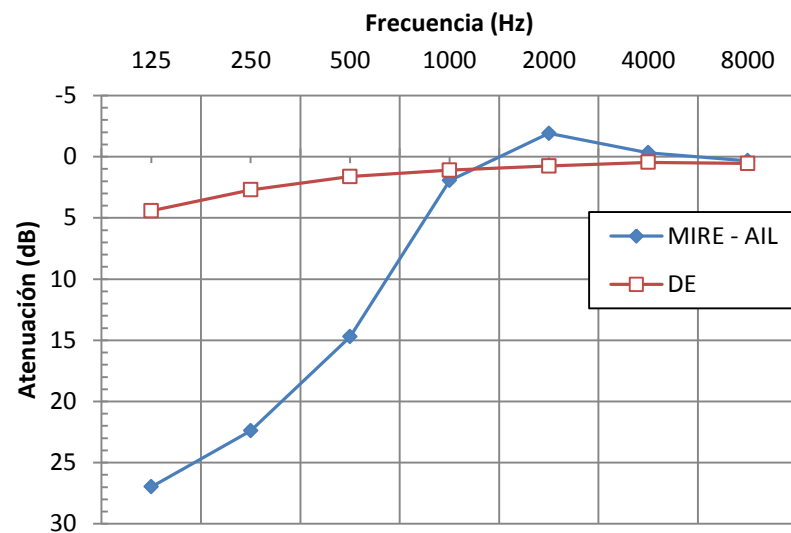


Figura 5.15. Promedio de Pérdida de Inserción Activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE”.

5.1.3.3. Pérdida de inserción total TIL

Tabla 5.11. Valores del promedio de Pérdida de Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
MIRE - TIL (dB)	24,8	22,6	22,9	17,0	19,0	28,2	28,5
Desviación Estándar (dB)	4,0	3,6	3,2	2,5	2,3	2,8	5,2

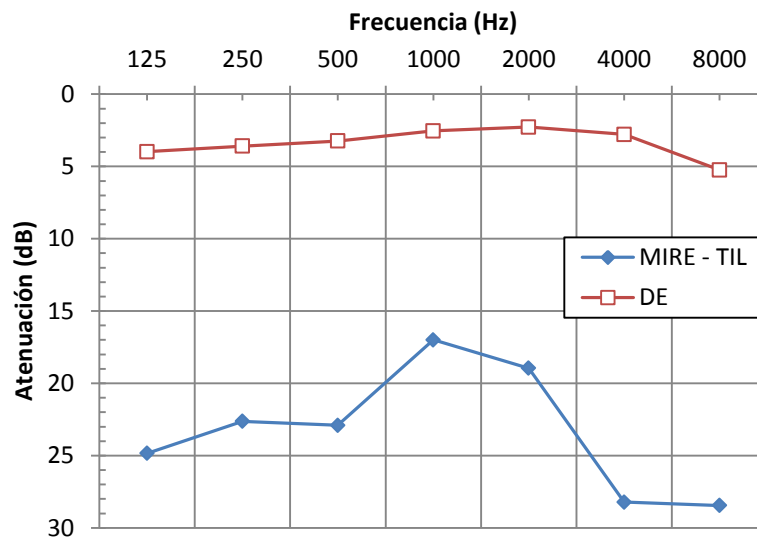


Figura 5.16. Promedio de Pérdida de Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE”.

5.1.3.4. Parámetros PIL, AIL, TIL y NPS medidos

Tabla 5.12. Valores del Promedio de NPS para los diez sujetos en las tres condiciones diferentes (Abierto L_o , cerrado apagado L_{c-off} , cerrado encendido L_{c-on} , para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_o (dB)	78,5	76,3	78,3	86,7	88,3	93,9	103,7
L_{c-off} (dB)	80,7	76,1	70,1	71,6	67,4	65,4	75,6
L_{c-on} (dB)	53,7	53,7	55,4	69,7	69,3	65,7	75,3

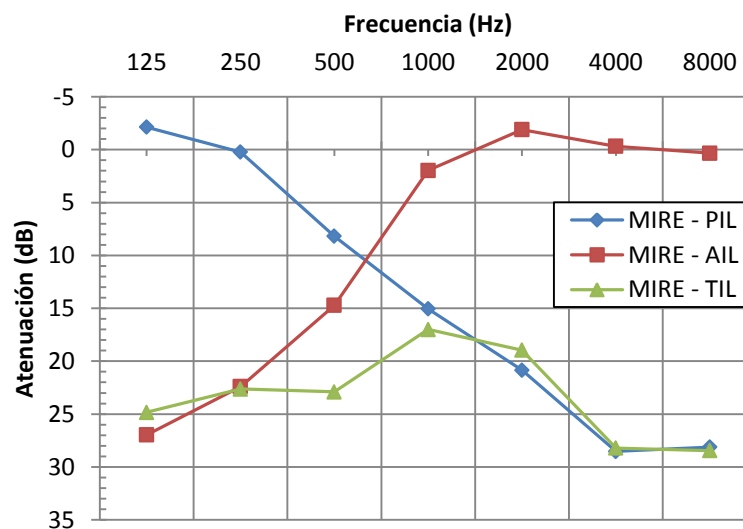


Figura 5.17. Parámetros de Pérdida de Inserción PIL, AIL y TIL para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE”.

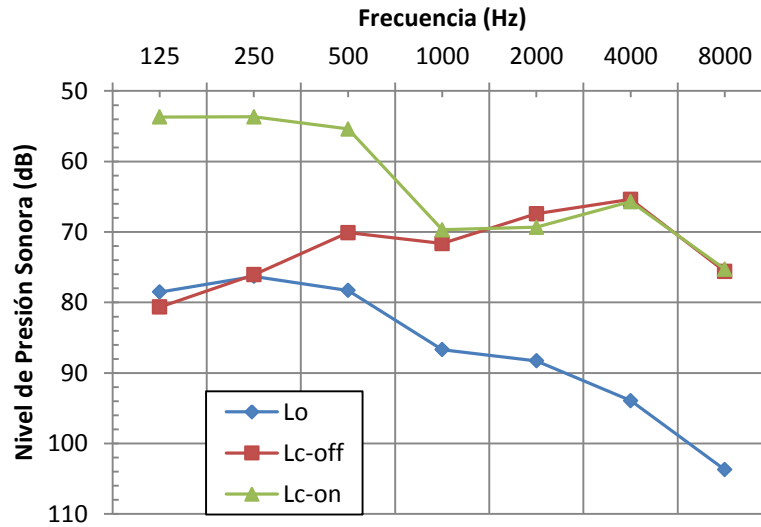


Figura 5.18. Promedio de NPS medidos en las tres condiciones (Abierto L_o , cerrado apagado L_{c-off} , cerrado encendido L_{c-on}) para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE”.

5.1.3.5. Discusión de los resultados

Para el caso de este dispositivo fabricado para fines de entretenimiento, la PIL presenta un comportamiento lineal creciente en todo el espectro de frecuencia. Presenta una ganancia negativa en 125 Hz y un valor máximo de atenuación de 27 dB en 8 kHz (ver Figura 5.14). Este valor de atenuación pasiva es alto si tomamos en cuenta que este dispositivo está diseñado para fines de entretenimiento. Esto se debe a su diseño tipo orejera con almohadillas recubiertas con material absorbente. El parámetro AIL presenta sorprendentemente un valor de atenuación activa máxima de 27 dB en 125 Hz y un valor mínimo de 0,8 dB en 8 kHz (ver Tabla 5.10), entregando al igual que los otros dos casos un comportamiento con una ganancia negativa entre los 500 Hz y 4 kHz. El parámetro de TIL evidencia el gran aporte a la atenuación del ruido entregado por el sistema CAR, que suple la deficiente atenuación pasiva proporcionada por el dispositivo y que sólo depende de las almohadillas acolchadas y materiales (ver Figura 5.16).

La desviación estándar presenta valores similares en todos los parámetros en el rango de 125 Hz a 1 kHz, lo que difiere de los dos casos anteriores donde la AIL presentaba valores pequeños en comparación a los otros dos parámetros. En todos los parámetros los valores máximos de desviación estándar se encuentran en 8 kHz, mostrando un grado de dispersión moderado para esta banda de frecuencia, esto significa que los valores de los parámetros se encuentran con un grado moderado de separación con respecto al promedio.

5.2. ANÁLISIS DE LA DEPENDENCIA DEL NIVEL DE LOS DAA

El hecho que un DAA sea dependiente del NPS para atenuar el ruido, es un factor muy importante a considerar, debido a que esto puede determinar su aplicación a fuentes de ruido específicas con comportamiento variable en el tiempo, aunque esto también requeriría avanzados hardware electrónicos que pudieran además de alterar el grado de atenuación, producir una óptima señal de anti-ruido desfasada de forma instantánea. Sin embargo, existe poca información disponible sobre si este comportamiento acústico existe realmente y en qué grado, en los DAA.

Cabe mencionar que aquellos DAA con control manual externo de ganancia no son considerados para este análisis de dependencia de nivel, puesto que el ajuste manual de atenuación de ruido que se puede producir con el control, corrobora la existencia y el grado de atenuación en tales dispositivos.

Con respecto a la información normativa, la norma ANSI/ASA S12.42-2010 menciona un método para evaluar los PAA tipo orejera con dependencia de nivel según la metodología MIRE o ATF, aunque es específicamente para el caso de los PAA tipo orejera con dependencia de nivel que poseen un control externo de ganancia, que no es el caso de los dispositivos utilizados en este trabajo, descartando esta opción.

En la norma SS-EN 352-5-2003, en la sección de métodos de prueba, se menciona la utilización de una evaluación objetiva para reportar el máximo NPS para el cual los PAA tipo orejera mantienen una relación lineal de atenuación. Este procedimiento se basa en el

monitoreo y control de un NPS base escogido arbitrariamente, el cual es incrementado en pasos de 5 dB hasta alcanzar el NPS que produzca la no linealidad de los DAA.

Considerando las recomendaciones de las normas, fue creada una metodología para determinar y analizar la posible existencia de dependencia de nivel en los DAA utilizados en este trabajo. Esta consiste en la medición de siete NPS escogidos, de 75 dB, 85 dB, 95 dB, 100 dB, 105 dB, 110 dB y 115 dB, los cuales poseen un incremento de 10 dB desde 75 dB hasta 95 y de 5 dB a partir de 100 dB hasta los 115 dB, siguiendo la recomendación propuesta por la norma SS-EN 352- 5-2003. La señal de prueba utilizada fue un ruido blanco, con los mismos equipos de medición e instalaciones para las mediciones de atenuación ya realizadas. Luego, se procedió a identificar la contribución que el sistema de CAR realiza a la reducción del ruido, puesto que ésta determinará si el grado de atenuación producido sólo por el sistema de CAR varía con el NPS expuesto. Esta contribución puede ser entregada por el parámetro AIL el cual considera la diferencia entre los niveles medidos en la condición cerrada con el sistema CAR apagado (off) y encendido (on), cuantificando de esta manera sólo la atenuación activa. También se entregará el parámetro PIL de todos los NPS a modo de comparación, para determinar si existe una dependencia de NPS, a nivel general, que involucre a todo el dispositivo.

A continuación serán presentados la serie de valores y gráficos ilustrando el parámetro AIL para todos los NPS, para cada DAA evaluado.

5.2.1. Protector Auditivo Activo PAAR 10 TELSATE

Tabla 5.13. Valores de la Pérdida de Inserción Activa (AIL) en los diferentes NPS para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TELSATE”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
AIL - 75 (dB)	8,8	8,2	7,2	-3,3	-3,8	0,8	1,7
AIL - 85 (dB)	9,3	8,9	8,2	-3,6	-4,2	1,3	1,6
AIL - 95 (dB)	8,6	9,3	9,6	-3,5	-3,8	-0,1	1,4
AIL - 100 (dB)	9,1	12,2	9,6	-2,9	-4,4	1,2	1,3
AIL - 105 (dB)	8,7	11,6	10,2	-4,0	-3,7	0,5	0,7
AIL - 110 (dB)	8,6	12,1	10,1	-5,0	-3,8	0,8	0,4
AIL - 115 dB	8,5	12,0	10,2	-4,6	-3,9	0,2	0,6

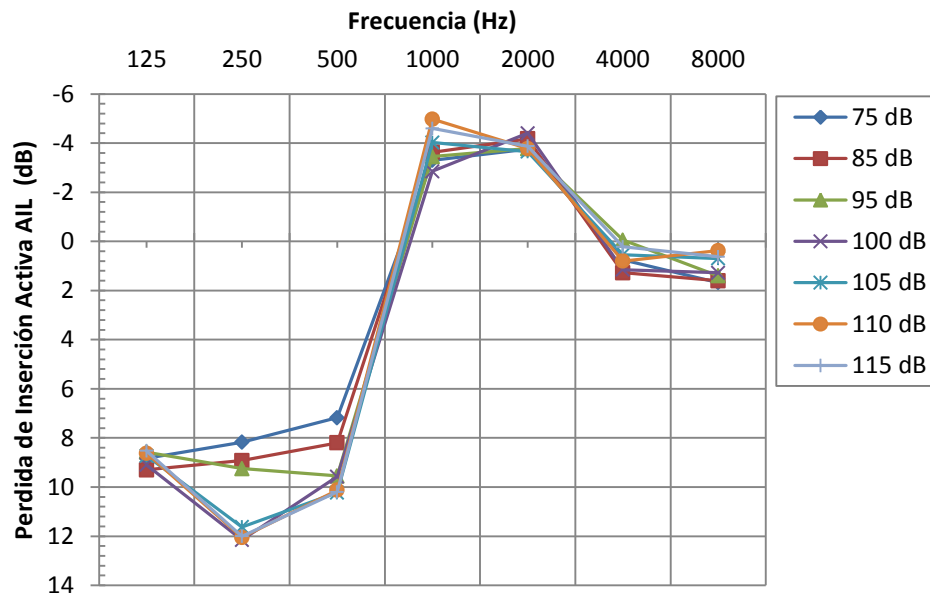


Figura 5.19. Pérdida de Inserción Activa (AIL) en los diferentes NPS, para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TELSATE”.

Tabla 5.14. Valores de Pérdida de Inserción Pasiva(PIL) para los distintos NPS para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TESATE”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
PIL - 75 (dB)	9,2	17,5	20,7	30,7	30,3	33,5	36,1
PIL - 85 (dB)	8,6	17,5	20,1	31,7	32,7	35,7	36,3
PIL - 95 (dB)	11,1	20,4	21,0	33,7	33,7	38,1	39,5
PIL - 100 (dB)	9,8	19,0	20,0	30,2	32,6	34,0	34,7
PIL - 105 (dB)	11,2	20,4	21,5	34,6	34,6	36,3	38,4
PIL - 110 (dB)	11,0	20,3	22,2	34,3	34,2	34,9	38,0
PIL - 115 (dB)	11,3	20,4	22,2	34,6	35,0	36,4	37,6

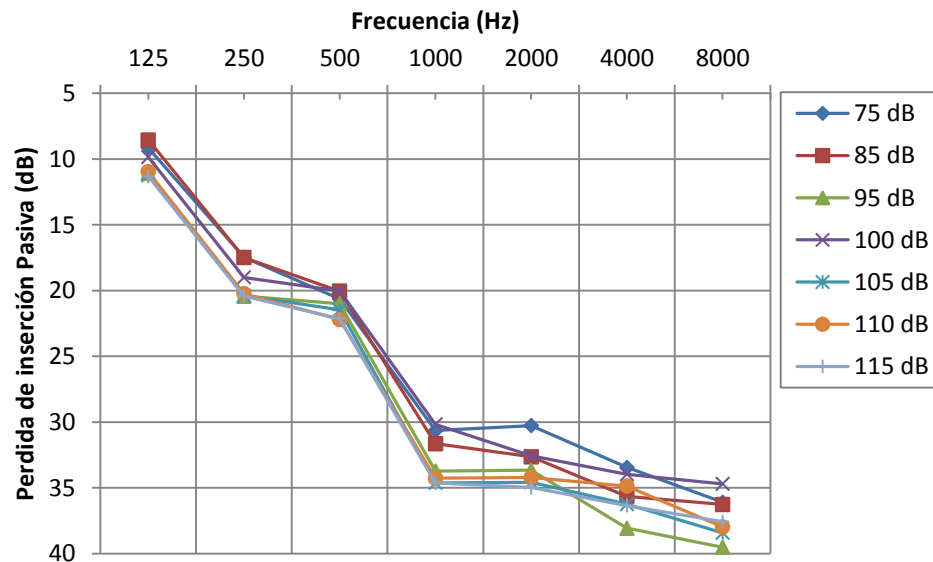


Figura 5.20. Pérdida de Inserción Activa (AIL) en los diferentes NPS para el Protector Auditivo Activo PAAR 10 “TELSATE”.

5.2.2. Auricular con micrófono activo ANR Digital PELTOR

Para el caso específico de este dispositivo auditivo, la utilización de los NPS de 75 dB, 85 dB y 95 dB fue innecesaria para realizar el análisis de dependencia de nivel, puesto que estos niveles no producían una excitación suficiente para activar el sistema de CAR, lo cual fue comprobado a través de una señal visual mostrada en la unidad de control (ver Figura 4.4). Para la presentación de los resultados se eligió la modalidad de funcionamiento de aeroplano con un motor (*Single*), donde se realizaron las mediciones para los diferentes NPS. Esto debido a que la excitación con diferentes NPS, para cada una de las modalidades de funcionamiento, no presentó diferencias relevantes, demostrando el mismo comportamiento con el aumento de NPS para las tres modalidades en el parámetro AIL y PIL, al igual que en los ensayos de atenuación.

La elección de la modalidad de aeroplano de un motor (*Single*), fue netamente arbitraria intentando ser representativo para las tres modalidades.

Tabla 5.15. Valores de Pérdida de Inserción Activa (AIL) en los diferentes NPS, para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital 9500 “PELTOR” en modalidad de funcionamiento aeroplano de un motor (*Single*), en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Single	AIL - 100 dB	12	6	0	0	0	0	1
	AIL - 105 dB	11	5	-1	-1	0	-1	0
	AIL - 110 dB	13	6	0	0	0	0	0
	AIL - 115 dB	12	6	0	-1	0	0	0

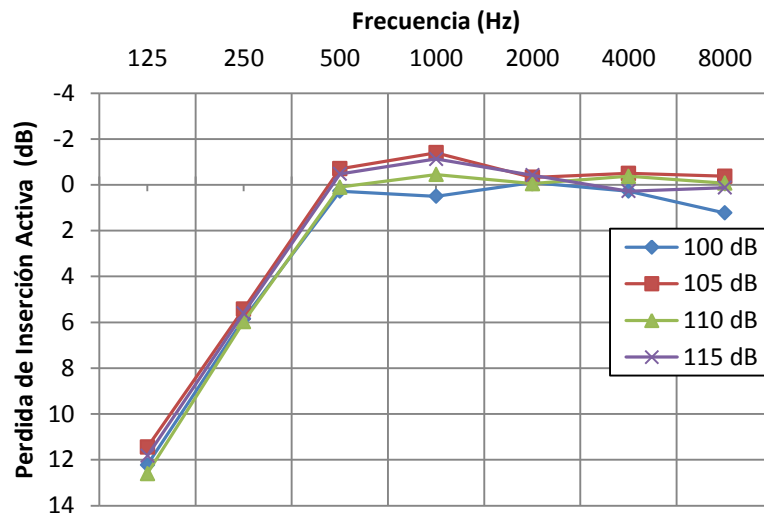


Figura 5.21. Pérdida de Inserción Activa (AIL) en los diferentes NPS, para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital 9500 “PELTOR” en la modalidad de funcionamiento aeroplano de un motor (*Single*).

Tabla 5.16. Valores de Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital 9500 “PELTOR” en la modalidad aeroplano de un motor (*Single*), en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Single	PIL - 100 (dB)	8	16	25	32	36	35	33
	PIL - 105 (dB)	10	19	29	37	36	34	33
	PIL - 110 (dB)	9	17	28	36	37	34	31
	PIL - 115 (dB)	9	17	28	36	37	32	30

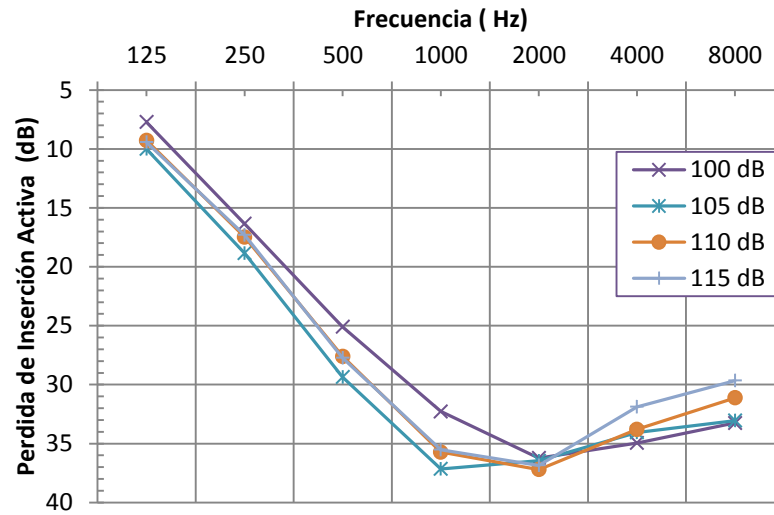


Figura 5.22. Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) para todos los NPS, del Auricular con Micrófono Activo ANR Digital 9500 “PELTOR”.

5.2.3. Auricular con cancelación de ruido Quietcomfort 15 BOSE

Tabla 5.17. Valores de Pérdida de Inserción Activa (AIL) para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE” en todos los NPS en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	80000
AIL - 75 (dB)	27	21	15	2	-3	-2	0
AIL - 85 (dB)	23	20	14	3	-1	0	1
AIL - 95 (dB)	26	22	14	2	-2	1	1
AIL - 100 (dB)	32	26	18	4	-1	-2	1
AIL - 105 (dB)	30	24	15	2	-2	-1	0
AIL - 110 (dB)	29	24	16	3	0	1	1
AIL - 115 (dB)	30	25	17	2	-2	0	1

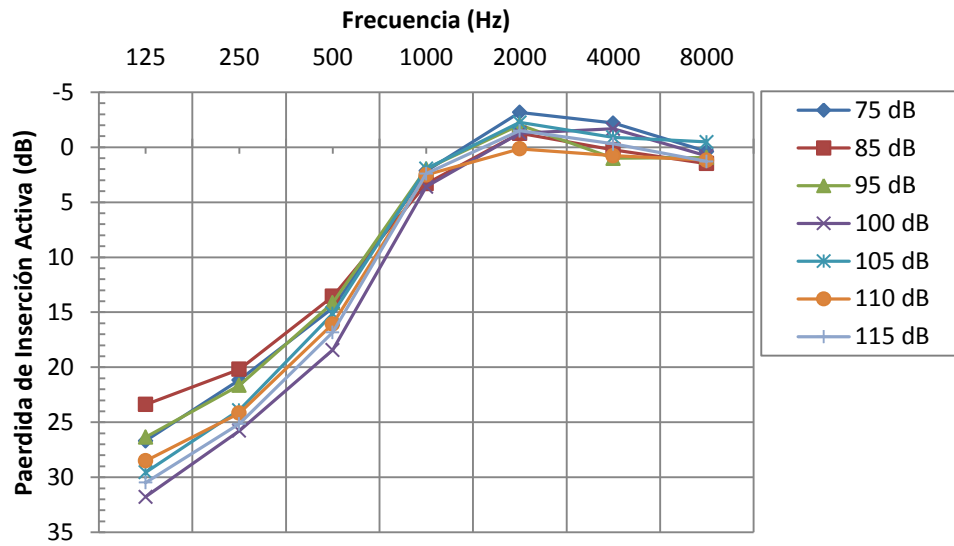


Figura 5.23. Pérdida de Inserción Activa (AIL) para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE” en los diferentes NPS testeados.

Tabla 5.18. Valores de Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE” en diferentes NPS testeados, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
PIL - 75 (dB)	-3	1	10	16	22	31	28
PIL - 85 (dB)	-2	0	10	17	23	31	28
PIL - 95 (dB)	-2	0	10	17	23	31	28
PIL - 100 (dB)	-3	1	10	17	23	33	30
PIL - 105 (dB)	-3	1	10	17	24	33	31
PIL - 110 (dB)	-2	0	9	16	23	31	29
PIL - 115 (dB)	-2	1	10	18	24	33	30

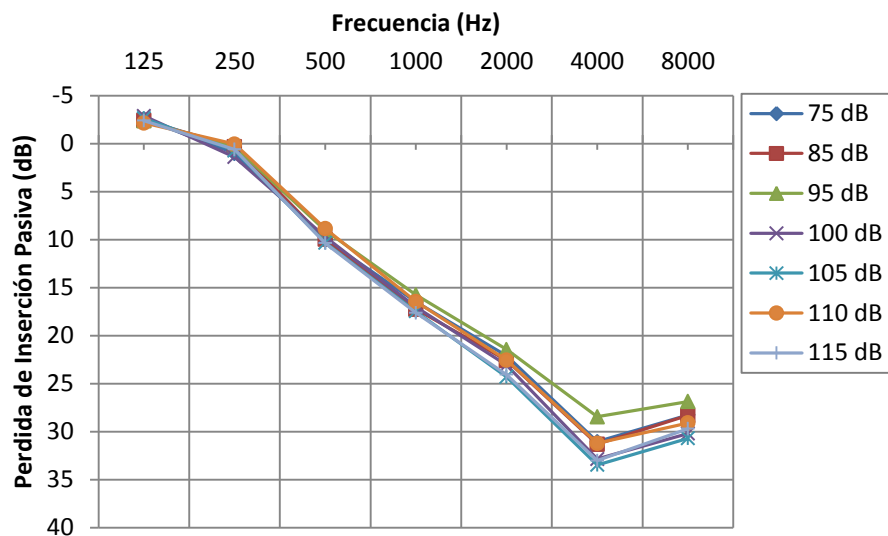


Figura 5.24. Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 “BOSE” en cada NPS testeados, en cada banda de frecuencia.

5.2.4. Discusión de los resultados

Para el caso del PAA PAAR 10 “TELSATE”, el parámetro AIL en general no demuestra ninguna relación que pueda indicar dependencia del NPS para reducir el ruido, (ver Tabla 5.13). Las diferencias máximas reportadas son del orden de 3 dB, en las frecuencias de 250 Hz, 500 Hz y 1 kHz. Se aprecia una tendencia de aumento del parámetro AIL entre los NPS de 95 dB y 100 dB en 250 Hz y otra tendencia de aumento entre los NPS testeados de 100 dB y 105 dB, para la frecuencia de 500 Hz. Sin embargo, estas diferencias no siguen una relación directa con el aumento del NPS, no siendo posible concluir sobre la posible dependencia de NPS en la reducción del ruido. Esto también es válido para el parámetro de PIL en algunas bandas de frecuencias (ver Tabla 5.14). En consecuencia, se podría concluir que este dispositivo no presenta dependencia de NPS para reducir el ruido.

En el caso del AMA ANR Digital 9500 “PELTOR”, el parámetro AIL muestra un comportamiento prácticamente constante en todo el espectro de frecuencia desde los 100

dB hasta 115 dB. Solamente se observan pequeñas diferencias del orden de 1 dB en todo el espectro de frecuencia entre los diferentes NPS presentados, con una diferencia máxima de 2 dB en 125 Hz (ver Figura 5.21), concluyendo que la atenuación de este dispositivo es independiente del NPS. El comportamiento de AIL para los diferentes NPS es el mismo para las diferentes modalidades de uso incorporadas en este dispositivo (*Heli*, *Single*, *Twin*). El parámetro PIL tiene un comportamiento constante sin presentar diferencias significativas entre los diferentes NPS para todo el espectro de frecuencia la igual que el AIL. Así, se puede concluir que este dispositivo, al igual que el anterior, no es dependiente del NPS para reducir el ruido.

En el ACR Quietcomfort 15 “BOSE”, el parámetro AIL también muestra un comportamiento constante sin producir cambios significativo entre los diferentes NPS en todo el espectro (ver Figura 5.23), con valores de AIL, en general, constantes para todos los NPS, presentando diferencias máximas de 3 dB en el rango de frecuencia de 125 Hz a 500 Hz y 2 dB entre 1 kHz y 8 kHz en los diferentes NPS (ver Tabla 5.17). Sin embargo, estas diferencias no siguen una tendencia que pueda determinar una dependencia de nivel en relación con los diferentes NPS presentados.

En resumen, se puede concluir que la atenuación de los tres dispositivos estudiados es independiente del NPS.

5.3. ANÁLISIS COMPARATIVO

En esta sección se presenta un análisis comparativo entre los diferentes resultados obtenidos para cada uno de los dispositivos medidos según su aplicación y su grado de atenuación. Además, se comparan los resultados con algunos trabajos anteriores.

5.3.1. Comparación de los tres dispositivos medidos

A continuación se presentan los resultados de cada parámetro (PIL, AIL y TIL), obtenidos anteriormente para los tres dispositivos testeados y de esta forma poder realizar un análisis del desempeño para atenuar el ruido. En el caso particular de los parámetros de AIL y TIL para el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR”, se usará el resultado de la modalidad de un motor de aeroplano (*Single*), debido a que las tres modalidades no presentan diferencias significativas.

5.3.1.1. Pérdida de inserción pasiva (PIL)

Tabla 5.19. Valores del Promedio de la Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos testeados, PAA PAAR 10 “TELSATE”, AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” y ACR Quietcomfort 15 “BOSE”, en cada banda de frecuencia

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
PIL – PAA TELSATE (dB)	9,8	18,8	20,7	30,9	32,0	36,0	37,0
PIL – AMA PELTOR (dB)	8,7	16,4	26,3	34,2	34,7	34,3	34,7
PIL – ACR BOSE (dB)	-2,1	0,2	8,2	15,0	20,8	28,5	28,1

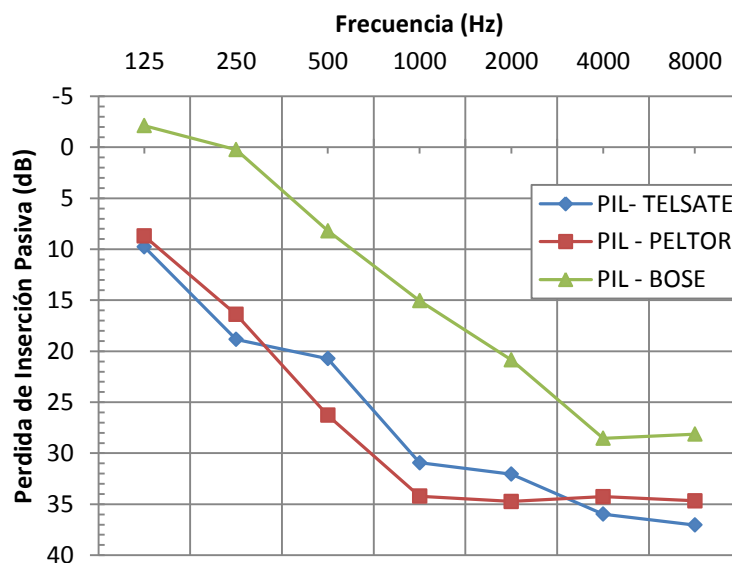


Figura 5.25. Promedio de la Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos testeados, PAA PAAR 10 “TELSATE”, AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” y ACR Quietcomfort 15 “BOSE”.

5.3.1.2. Pérdida de inserción activa (AIL)

Tabla 5.20. Valores del Promedio de la Pérdida de Inserción Activa (AIL) de los tres dispositivos testeados, PAA PAAR 10 “TELSATE”, AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” y ACR Quietcomfort 15 “BOSE” en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
AIL – PAA TELSATE (dB)	8,2	11,8	10,4	-3,4	-4,3	-0,4	0,4
AIL – AMA PELTOR(dB)	10,9	5,0	-1,0	-1,5	-0,9	-0,9	-0,3
AIL – ACR BOSE (dB)	27,0	22,4	14,7	2,0	-1,9	-0,3	0,3

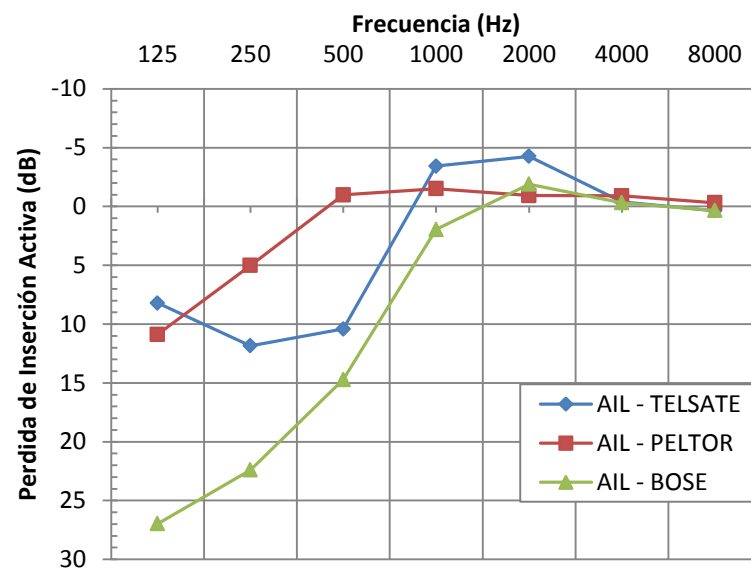


Figura 5.26. Promedio de la Pérdida de Inserción Activa (AIL) para los tres dispositivos testeados, PAA PAAR 10 “TELSATE”, AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” y ACR Quietcomfort 15 “BOSE”.

5.3.1.3. Pérdida de inserción total (TIL)

Tabla 5.21. Valores del Promedio de la Pérdida de Inserción Total (TIL) de los tres dispositivos testeados, PAA PAAR 10 “TELSATE”, AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” y ACR Quietcomfort 15 “BOSE” en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TIL – PAA TELSATE (dB)	18,0	30,7	31,1	27,5	27,8	35,6	37,4
TIL – AMA PELTOR (dB)	19,6	21,4	25,3	32,7	33,8	33,4	34,4
TIL – ACR BOSE (dB)	24,8	22,6	22,9	17,0	19,0	28,2	28,5

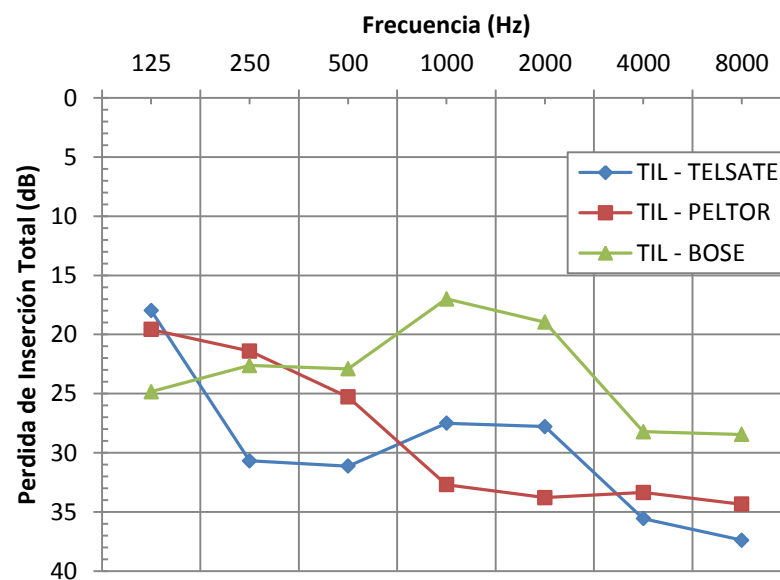


Figura 5.27. Promedio de la Pérdida de Inserción Total (AIL) para los tres dispositivos testeados, PAA PAAR 10 “TELSATE”, AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” y ACR Quietcomfort 15 “BOSE”.

5.3.1.4. Discusión

Con respecto al parámetro PIL, se puede apreciar el dominio en los dispositivos aplicados a la protección (PAA PAAR 10 “TELSATE”) y comunicación (AMA ANR Digital 9500 “PELTOR”), sobre el dispositivo aplicado al entretenimiento (ACR Quietcomfort 15 “BOSE”), en todo el rango de frecuencia (ver Figura 5.25), con diferencias máximas de 16 dB en bajas frecuencias y 6 dB en frecuencias altas entre los dispositivos (ver Tabla 19). Este resultado no sorprende debido a la aplicación del ACR Quietcomfort 15 “BOSE”. Sin embargo, el hecho de poseer un grado considerable de atenuación pasiva del ruido en frecuencias altas ya es meritorio para este dispositivo. Se puede apreciar una mayor ganancia de la atenuación pasiva en el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” sobre el dispositivo de protección PAA PAAR 10 “TELSATE”, en el rango de frecuencia de 500 Hz a 3 kHz, aproximadamente, con diferencias de no más de 3 dB.

En relación a la AIL, el ACR Quietcomfort 15 “BOSE” presenta la mayor atenuación activa de ruido en todo el espectro de frecuencia (ver Figura 5.26), presentando diferencias máximas de 15 dB con los demás dispositivos entre 125 Hz y 1 kHz. El PAA PAAR 10 “TELSATE” se impone sobre el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR”, presentando una mayor ganancia de la atenuación activa en el rango de frecuencias de 250 Hz y 1 kHz.

El parámetro TIL representa la contribución pasiva y activa a la atenuación del ruido entregada por los dispositivos y por ende es el parámetro más representativo para entregar el desempeño total de tales dispositivos. En este caso se tiene que el PAA PAAR 10 “TELSATE” (ver Figura 5.27) presenta la mayor atenuación total de ruido en el rango de frecuencias bajas de 187 Hz y 750 Hz, aproximadamente (ver Tabla 5.21), con una diferencia máxima de 10 dB entre los demás dispositivos. Sin embargo, entre el rango de frecuencias de 750 Hz y 3,5 kHz, aproximadamente, es superado por el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR”. El ACR Quietcomfort 15 “BOSE” presentó una pequeña ganancia de atenuación total mayor a los demás, aunque sólo en una pequeña fracción del espectro de frecuencia entre 125 Hz y 187 Hz, aproximadamente.

En general, los dispositivos muestran un desempeño completo de reducción del ruido, cubriendo gran parte del espectro de frecuencia, donde la atenuación pasiva producida por los materiales de construcción proporciona el mejor desempeño en frecuencias altas con valores máximos de 37 dB y la atenuación activa de ruido proporcionada por el sistema de CAR se hace más evidente en las frecuencias bajas, donde alcanza un valor máximo de 24 dB. Debido a que en este caso en particular los valores de atenuación producidos a través de la conducción ósea BC (ver capítulo 4.1.1 Conducción ósea) de 44 dB no fueron alcanzados, se puede dar el caso que los valores de atenuación sobreestimen la atenuación de ruido producida sobre los 2 kHz.

5.3.2. Comparaciones con otros trabajos

5.3.2.1. Estimación de la pérdida auditiva por ruido inducido a través de AMA

En una investigación realizada por Mckinley, Steuver y Nixon para estimar la reducción en la pérdida auditiva por ruido inducido a través de la aplicación de auriculares con micrófonos activos [Mckinley et al., 1994], se proporciona información sobre el desempeño de los auriculares con micrófono, estimando los efectos resultantes en la predicción de la pérdida auditiva por ruido inducido. Además de esta evaluación de la pérdida auditiva presentada por Mckinley et al., se presentó un análisis para evaluar la eficiencia del sistema de CAR incorporado en los dispositivos de AMA para la comunicación, análisis que es de utilidad, ya el procedimiento es similar al usado en este trabajo.

En el trabajo de Mckinley et al. fueron medidos seis auriculares con micrófono activo con el sistema de CAR (NB-DX ANR “NTC”, DCNC-ANR “DAVID CLARK”, ANR 4000 “TELEX”, “BOSE” Aviation, ANR 7004 “PELTOR” y HMEC 200 ANR “SENNHEISER”) y cuatro auriculares con micrófono convencional de atenuación pasiva, los cuales no son de interés para el objetivo de este trabajo. Todos los dispositivos evaluados son tipo orejera circum-aurales.

A continuación se presenta una comparación de los dispositivos medidos en este trabajo con los AMA, “BOSE” Aviation y ANR 7004 “PELTOR” del trabajo de Mckinley et al., ya que poseen la misma marca que dos de los dispositivos evaluados en este trabajo. Además, se incluye los resultados del AMA HMEC 200 ANR “SENNHEISER”, debido a ser una de las marcas más prestigiosas e importante en el mercado.

Cabe aclarar que las comparaciones serán realizadas con las mismas marcas de dispositivo, para el caso del ACR Quietcomfort 15 “BOSE” y el AMA ANR 9500 “PELTOR”. El PAA PAAR 10 “TELSATE” se compara con el AMA HMEC 200 ANR “SENNHEISER”. Sólo se presentan los valores de PIL y AIL ya que son los parámetros específicos que cuantifican la atenuación pasiva y activa de ruido.

Tabla 5.22. Valores de los Parámetros PIL, AIL y TIL del PAA PAAR 10 “TELSATE” comparado con los valores obtenidos por Mckinley, Steuver y Nixon para el AMA HMEC 200 ANR “SENNHEISER”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000
PAA PAAR 10 – TELSATE (dB)	PIL (dB)	9,8	18,8	20,7	30,9	32	36	37
	AIL (dB)	8,2	11,8	10,4	-3,4	-4,3	-0,4	0,4
	TIL (dB)	18	30,7	31,1	27,5	27,8	35,6	37,4
AMA HMEC 200 ANR – SENNHEISER (dB)	PIL (dB)	8,0	19,0	27,0	31,0	32,0	35,0	34,0
	AIL (dB)	20,0	19,0	8,0	-3,0	-3,0	-1,0	0,0
	TIL (dB)	25,0	24,0	25,0	31,0	30,0	36,0	34,0

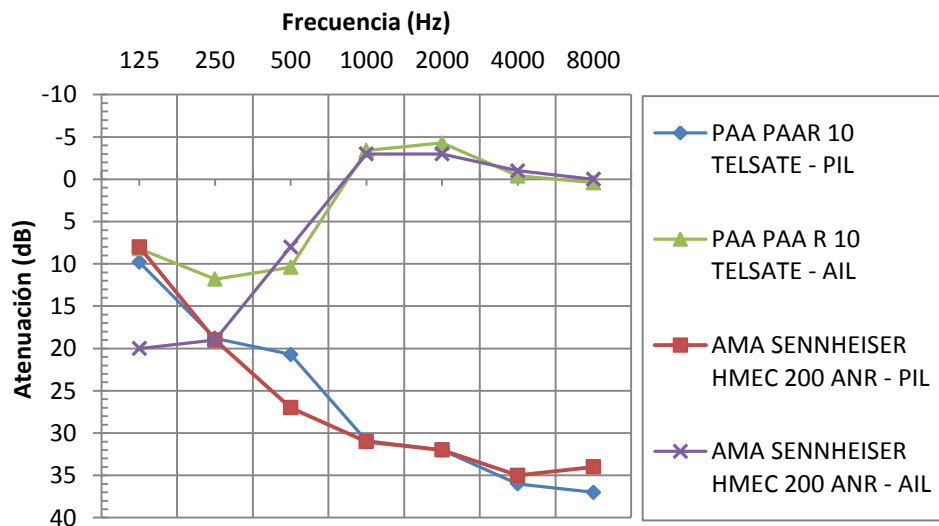


Figura 5.27. Promedio de los parámetros PIL y AIL para el PAA PAAR 10 “TELSATE” comparado con los valores obtenidos por Mckinley, Steuver y Nixon para el AMA HMEC 200 ANR “SENNHEISER”.

Como se puede apreciar en la Tabla 5.22 los valores de PIL obtenidos por Mckinley et al. para el AMA HMEC 200 ANR “SENNHEISER” son bastante similares al del PAA PAAR 10 “TELSATE” en todo el espectro de frecuencia, mostrando la misma tendencia (ver Figura 5.27), con diferencias máximas de 7 dB y 3 dB en las frecuencia de 500 Hz y 1

kHz, respectivamente. El AIL medido en el AMA HMEC 200 ANR “SENNHEISER” presenta una mayor ganancia de atenuación activa del ruido en las frecuencias de 125 Hz y 250 Hz, con diferencias máximas de 12 dB entre ambos dispositivos. Por último, ambos valores de TIL son similares en el rango de frecuencias de 250 Hz a 8 kHz. La diferencia más pronunciada se encuentra en la frecuencia de 125 Hz (ver Tabla 5.22), debido a que el PAA PAAR 10 “TELSATE” posee un desempeño menor en esa frecuencia para la atenuación activa de ruido, en comparación con el AMA HMEC 200 ANR “SENNHEISER”.

Sin embargo hay que tener en cuenta que el AMA HMEC 200 ANR “SENNHEISER” es un dispositivo diseñado para fines de comunicación, que posee características adicionales que le brindan una atenuación pasiva y activa del ruido, a diferencia del PAA PAAR 10 “TELSATE”, que es diseñado para fines de protección auditiva.

Tabla 5.23. Valores de los Parámetros PIL, AIL y TIL para el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” en modalidad aeroplano de un motor (*Single*) comparado con los valores obtenidos por McKinley, Steuver y Nixon para el AMA ANR 7004 “PELTOR”, en cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000
AMA PELTOR 9500 ANR	PIL (dB)	8,7	16,4	26,3	34,2	34,7	34,3	34,7
	AIL (dB)	10,9	5,0	-1,0	-1,5	-0,9	-0,9	-0,3
	TIL (dB)	19,6	21,4	25,3	32,7	33,8	33,4	34,4
AMA PELTOR 7004 ANR	PIL (dB)	9,0	19,0	28,0	31,0	33,0	34,0	35,0
	AIL (dB)	18,0	8,0	-3,0	0,0	-1,0	1,0	0,0
	TIL (dB)	27,0	26,0	25,0	31,0	32,0	35,0	35,0

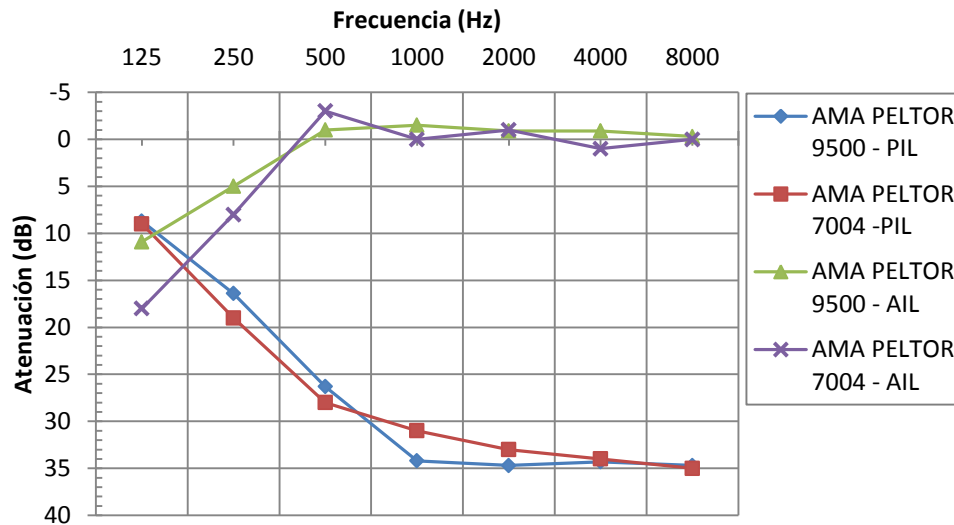


Figura 5.28. Promedio de los parámetros PIL y AIL para el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” en modalidad aeroplano de un motor (*Single*) comparado con los valores obtenidos por Mckinley, Steuver y Nixon para el AMA ANR 7004 “PELTOR”.

Para los dispositivos de marca “PELTOR”, tanto el PIL y AIL son bastante similares presentando diferencias muy pequeñas entre ambos dispositivos (ver Figura 5.28). En el caso de la PIL, el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” muestra una mayor ganancia de atenuación pasiva en 1 kHz, con una diferencia máxima de 3 dB. Para la AIL, se puede apreciar la misma tendencia en todo el espectro de frecuencia, aunque el AMA ANR 7004 posee una mayor ganancia de atenuación activa entre 125 Hz y 500 Hz, con diferencias máximas entre ambos dispositivos de 8 dB en los 125 Hz. Para la TIL, en general los valores son bastante similares en todo el espectro de frecuencia con diferencias más marcadas en 125 Hz y 500 Hz (ver Tabla 5.23), lo que es obvio debido a las diferencias expuestas en AIL y PIL y que se ven reflejadas en la atenuación total producida por el sistema.

En general, para este caso, el comportamiento de la atenuación de ruido no muestra grandes diferencias. Esta similitud se atribuye a que la comparación fue realizada con dos

dispositivos de la misma marca y aplicación, diferenciándose sólo en el modelo, a diferencia de los otros dos casos.

Tabla 5.24. Valores de los Parámetros PIL, AIL y TIL para el ACR Quietcomfort 15 “BOSE” comparado con los valores obtenidos por Mckinley, Steuver y Nixon para el AMA Aviation Headset “BOSE”, en cada banda de frecuencia

Frecuencia (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000
ACR Quietcomfort 15 BOSE	PIL (dB)	-2,1	0,2	8,2	15,0	20,8	28,5	28,1
	AIL (dB)	27,0	22,4	14,7	2,0	-1,9	-0,3	0,3
	TIL (dB)	24,8	22,6	22,9	17,0	19,0	28,2	28,5
AMA Aviation Headset BOSE	PIL (dB)	1,0	11,0	15,0	26,0	30,0	38,0	38,0
	AIL (dB)	19,0	19,0	8,0	-3,0	-3,0	-1,0	0,0
	TIL (dB)	20,0	31,0	24,0	23,0	27,0	37,0	38,0

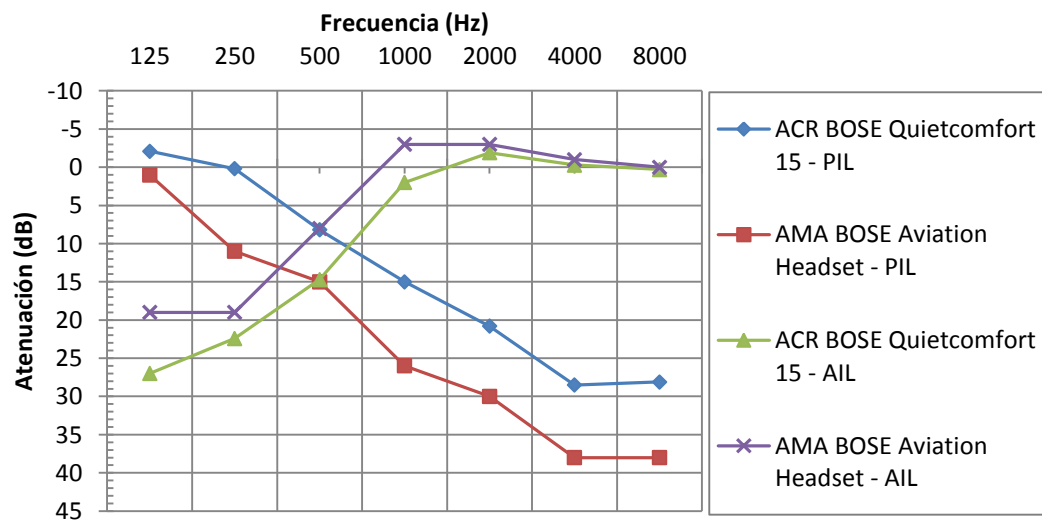


Figura 5.29. Promedio de los parámetros PIL y AIL para el ACR Quietcomfort 15 “BOSE” comparado con los valores obtenidos por Mckinley, Steuver y Nixon autores para el AMA Aviation Headset “BOSE”, en cada banda de frecuencia.

Para el caso de los dispositivos de la marca “BOSE”, el PIL del AMA Aviation Headset evaluado por Mckinley et al. muestra una mayor ganancia en todo el espectro de

frecuencia con una diferencia aproximadamente constante de 10 dB, en comparación con el ACR Quietcomfort 15 testeado en este trabajo (ver Figura 5.29). Este dominio en la atenuación pasiva puede ser atribuido a un diseño más robusto del dispositivo, donde las propiedades físicas de atenuación pasiva puede verse favorecidas por el mayor tamaño de copa y almohadillas más amplias. En el caso de AIL, el ACR Quietcomfort 15 muestra una mayor ganancia en comparación con el AMA Aviation Headset en el rango de frecuencias de 125 Hz a 2 kHz, con un diferencia máxima de 6 dB en 2 kHz (ver Figura 5.29). Esto se debe a que el ACR Quietcomfort incorpora un mejor sistema de CAR. Sin embargo, la pobre atenuación pasiva proporcionada por éste, en comparación con el AMA Aviation Headset, resulta en una atenuación total menor, lo cual se aprecia en los valores de TIL obtenidos (ver Tabla 5.24).

5.3.2.2. Desempeño de la reducción activa del ruido en protectores auditivos y auriculares en sistema de simulación de cabeza y torso artificial.

En otra investigación [Fedtke y Richter, 1999], se presentaron los resultados de las mediciones hechas del desempeño de cinco tipos de DAA aplicados a la protección, comunicación y entretenimiento. Estas mediciones fueron realizadas a través de dos metodologías, una que incluía dos sistemas de simulación de cabeza y torso artificiales HATS (*Head and torso Simulation*) y el otro por la técnica MIRE.

Los dispositivos evaluados por Fedtke y Richter fueron el PAA PA-3000 “NTCproActive” (tipo orejera circum-aural), PAA HDC 200 NoiseGard “SENNHEISER” mobile (tipo orejera circum-aural), AMA HMEC 25 CA NoiseGard “SENNHEISER” (tipo orejera supra-aural), ACR MDR NC20 “SONY” (tipo orejera circum-aural) y el ACR HDC 451 NoiseGard mobile “SENNHEISER” (tipo orejera supra-aural). Los equipos de medición y generación de ruido cumplían con la recomendación normativa, y se usaron dieciséis sujetos de prueba para realizar los ensayos con la metodología MIRE. El NPS de

la señal de prueba fue de 70 dB en el caso del MIRE y en el caso de los ensayos con los HATS fue de 90 dB.

Los resultados de esta investigación fueron representados por el desempeño de atenuación activa del ruido, a través del parámetro AIL. A continuación serán comparados los resultados obtenidos por Fedtke y Richter con los del presente trabajo. En el caso específico del PAA PAAR 10 “TELSATE” y ACR Quietcomfort 15 “BOSE”, serán considerandos los resultados del parámetro AIL de 75 dB de la sección de Análisis de dependencia de Nivel (ver capítulo 5.2), esto debido a que el NPS de la señal de prueba escogida por esta investigación fue de 70 dB, para tener una mayor correlación de los datos. En el caso del AMA ANR Digital 9500 PELTOR serán utilizado el NPS escogido para los ensayos de 105 dB, respaldándose en su característica de independencia del NPS para reducir el ruido. Los dispositivos de la investigación de Fedtke y Richter escogidos para realizar las comparaciones fueron el PAA HDC 200 NoiseGard mobile “SENNHEISER”, el AMA HMEC 25 CA NoiseGard “SENNHEISER y el ACR MDR-NC20 “SONY”.

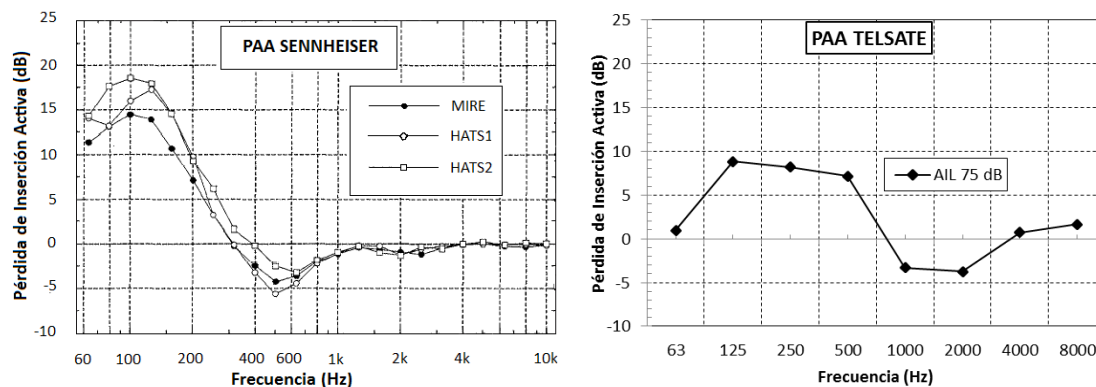


Figura 5.30. Pérdida de Inserción Activa (AIL), para el PAA HDC 200 NoiseGard mobile “SENNHEISER” evaluado por Fedtke y Richter (derecho) y el PAA PAAR 10 “TELSATE” evaluado en este trabajo (izquierdo).

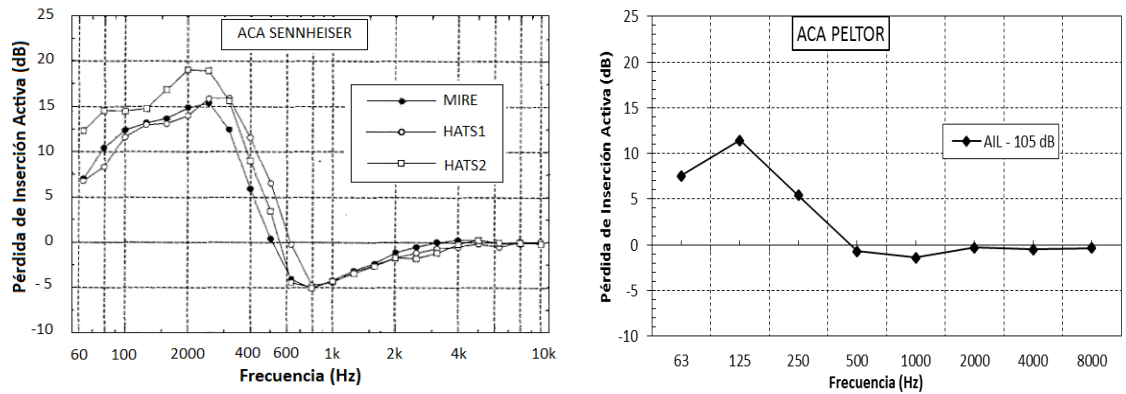


Figura 5.31. Pérdida de Inserción Activa (AIL), para el AMA HMEC 25 CA NoiseGard “SENNHEISER” evaluado por Fedtke y Richter (derecho) y el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” evaluado en este trabajo (izquierdo).

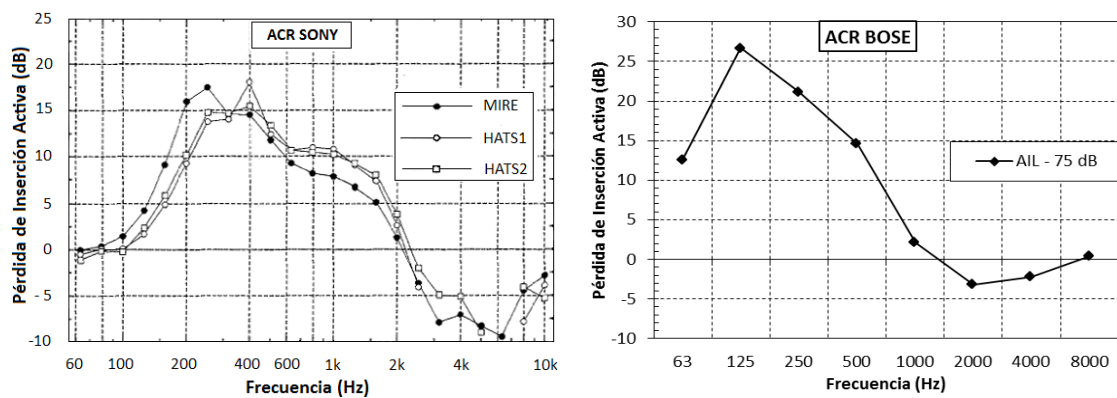


Figura 5.32. Pérdida de Inserción Activa (AIL), para el ACR MDR-NC20 “SONY” evaluado por Fedtke y Richter (derecho) y el ACR Quietcomfort 15 “BOSE” evaluado en este trabajo (izquierdo).

Analizando los datos de la Figura 5.30, y comparando sólo los valores del método MIRE, el PAA HDC 200 y el PAA PAAR 10 “TELSATE” muestran la misma tendencia en todo el espectro de frecuencia para el AIL, con su mayor ganancia en la reducción activa de ruido en las frecuencias bajas y con la ganancia negativa alrededor de las frecuencias medias altas, entre 300 Hz y 1 kHz, aproximadamente, para el caso del PAA HDC 200

“SENNHEISER” y entre 500 Hz y 4 kHz para el caso de PAA PAAA 10 “TELSATE”. El PAA HDC 200 “SENHEISER”, evaluado por Fedtke y Richter, en general muestra una mayor ganancia en la reducción activa de ruido comparado con el PAA PAAR 10 “TELSATE”, con valores máximos de atenuación activa de ruido de 14 dB en 100 Hz, comparado con el valor máximo de 9 dB en 125 Hz del PAAR 10 “TELSATE”. Para los HATS es obtenida una atenuación más grande pero que, según Fedtke y Richter, es atribuida a una sobreestimación en la reducción activa de ruido, siendo los datos obtenidos por el método MIRE la referencia correcta.

Para los resultados del método MIRE, el AMA HMEC 25 “SENNHEISER” y el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” evaluado en este trabajo, muestran también la mayor ganancia de reducción activa de ruido en las frecuencias bajas, con valores máximos de AIL de 15 dB alcanzados por el AMA HMEC 25 “SENNHEISER” y 12 dB para el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” en 200 Hz y 125 Hz, respectivamente (ver Figura 5.31). Sin embargo, el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” posee una menor ganancia negativa en comparación con el HMEC 25 “SENNHEISER” en el rango de frecuencias de 500 Hz y 2 kHz. Para este caso, el dispositivo evaluado por Fedtke y Richter se comporta mejor que el de este trabajo.

Para los dispositivos aplicados al entretenimiento evaluados por el método MIRE, se tiene que el AMA Quietcomfort 15 “BOSE” muestra una mejor reducción activa del ruido, con valores máximos de AIL de 27 dB en 125 Hz en comparación con los 17 dB en 300 Hz que presenta el ACR MDR-NC20 “SONY” evaluado por Fedtke y Richter. Inclusive, los valores de ganancia negativa esperados son menores en el ACR Quietcomfort 15 “BOSE”, con diferencias de hasta 5 dB entre ambos dispositivos entre 2 kHz y 8 kHz, lo que demuestra la eficacia del sistema de CAR incorporado en el ACR Quietcomfort 15 “BOSE” para reducir el ruido.

En general para los casos del PAA PAAR 10 “TELSATE” y AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” estos fueron superados en la evaluación de AIL por los dispositivos de marca “SENNHEISER” presentados por Fedtke y Richter, aplicados a la protección y

comunicación, respectivamente. En el caso particular de los ACR aplicados al entretenimiento, el dispositivo ACR Quietcomfort 15 “BOSE” evaluado en este trabajo presento un mayor rendimiento para atenuar el ruido a través del sistema de CAR. Sin embargo, hay que tener en cuenta que para poder afirmar cuál dispositivo es mejor o peor para reducir el ruido, es necesario conocer el aporte de PIL que muestra la contribución pasiva para reducir el ruido y que en algunos casos puede ser determinante sobre todo para el rango de frecuencias altas, que es donde el sistema CAR presenta más deficiencia. Además, ya que los resultados obtenidos por Fedtke y Richter muestran que los dispositivos de simulación de torso y cabeza artificial (HATS), se desempeñan adecuadamente para determinar la reducción activa de ruido proporcionada por el sistema de CAR en los dispositivos auditivos, es un resultado que respalda la eficiencia del método MIRE para evaluar DAA.

5.3.3. Comparación con dispositivos convencionales

Los dispositivos auditivos de reducción de ruidos pasivos o convencionales, se encuentran en más cantidad en el mercado y son aplicados tanto a la protección, comunicación y entretenimiento. En esta sección se compara el desempeño en la reducción de ruido entre los dispositivos evaluados en este trabajo y tres dispositivos auditivos pasivos aplicados a la protección, comunicación y entretenimiento, pero que no incorporan el sistema de CAR.

Los dispositivos convencionales utilizados para realizar las comparaciones son: el Protector Auditivo Pasivo PAP H9A “PELTOR” evaluado en el trabajo de Almeida [De Almeida, 2010], el Auricular con Micrófono AM Sigtronics S-20, evaluado en la investigación de Mckinley et al. y un Auricular RP – HPX7 “PANASONIC”, evaluado en este trabajo. En las comparaciones del desempeño, se consideran los parámetros PIL y TIL.

Tabla 5.25. Valores de Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) para el PAP H9A “PELTOR” evaluado por De Almeida y valores de PIL y Perdida de Inserción Total (TIL) para el PAA PAAR 10 “TELSATE” evaluado en este trabajo, para cada banda de frecuencia

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
PAP H9A PELTOR – PIL (dB)	10,4	18,8	30,7	37,2	44,3	34,5	39,1
PAA PAAR 10 TELSATE –PIL (dB)	9,8	18,8	20,7	30,9	32,0	36,0	37,0
PAA PAAR 10 TELSATE –TIL (dB)	8,2	11,8	10,4	-3,4	-4,3	-0,4	0,4

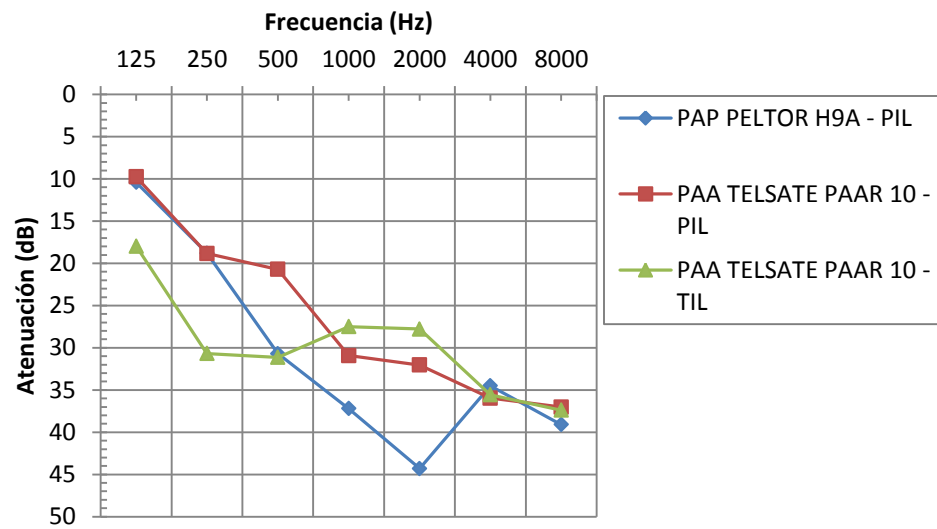


Figura 5.33. Pérdida de Inserción Pasiva (PIL), para el PAP H9A “PELTOR” evaluado por De Almeida y parámetros PIL y TIL para PAA PAAR 10 “TELSATE” evaluado en este trabajo.

Tabla 5.26. Valores de Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) para el Auricular con Micrófono Sigtronics S - 20 evaluado por Mckinley, Steuver y Nixon y los valores de PIL y Perdida de Inserción Total (TIL) para el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” evaluado en este trabajo, para cada banda de frecuencia

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
AM Sigtronics S – 20 – PIL (dB)	14,0	20,0	20,0	21,0	23,0	41,0	36,0
AMA ANR Digital 9500 PELTOR – PIL (dB)	8,7	16,4	26,3	34,2	34,7	34,3	34,7
AMA ANR Digital 9500 PELTOR – TIL (dB)	20	21,4	25,3	32,7	33,8	33,4	34,4

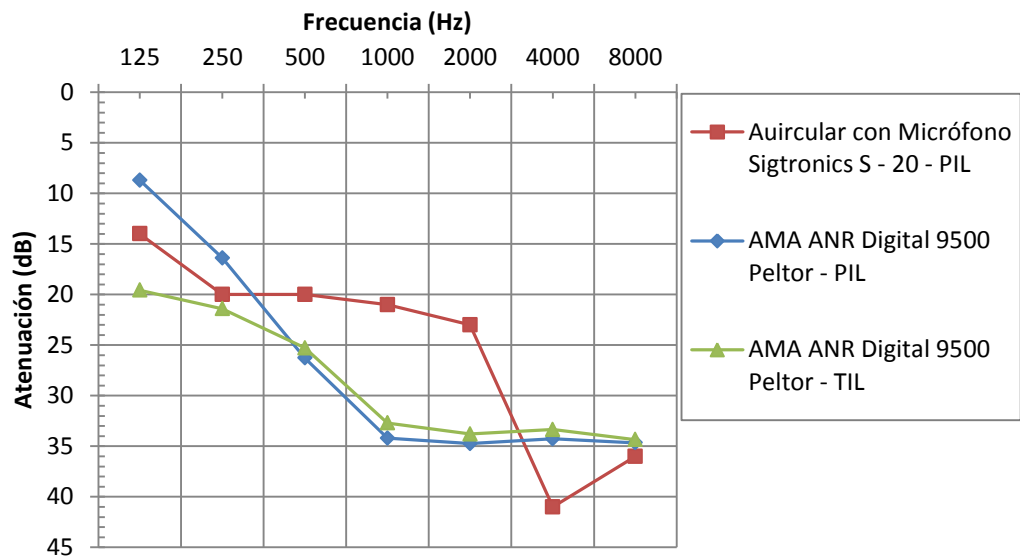


Figura 5.34. Pérdida de Inserción Pasiva (PIL), para el Auricular con Micrófono Sigtronics S - 20 evaluado por Mckinley, Steuver y Nixon y los parámetros PIL y TIL para AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” evaluado en este trabajo.

Tabla 5.27. Valores de Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) para el Auricular RP – HPX7 “PANASONIC” y los valores de PIL y Perdida de Inserción Total (TIL) para el ACR Quietcomfort 15 “BOSE” ambos evaluados en este trabajo, para cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Auricular RP – HPX7 PANASONIC – PIL (dB)	-1,4	-2,5	4,4	16,3	20,2	24,2	26,2
ACR Quietcomfort 15 BOSE – PIL (dB)	-2,1	0,2	8,2	15,0	20,8	28,5	28,1
ACR Quietcomfort 15 BOSE – TIL (dB)	24,8	22,6	22,9	17,0	19,0	28,2	28,5

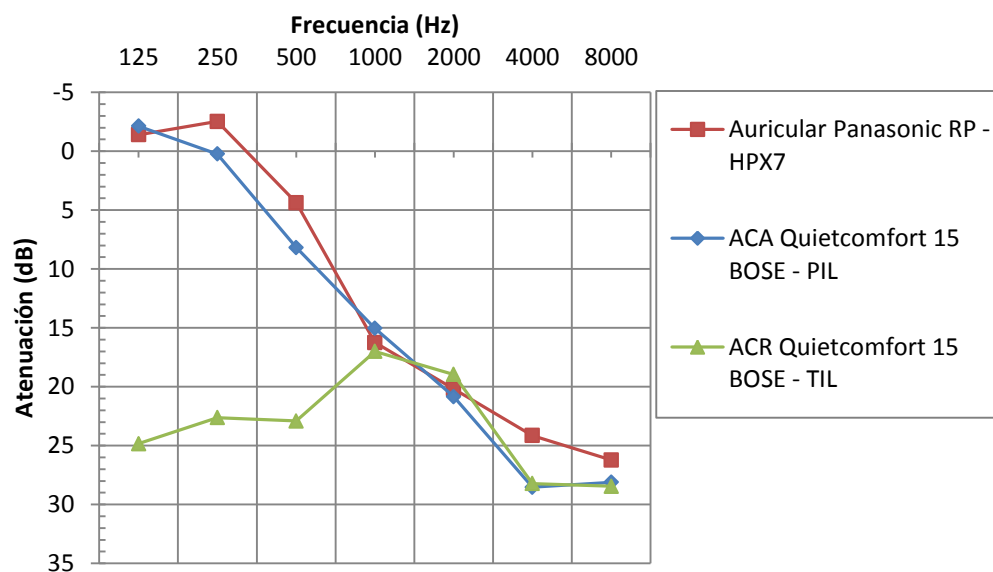


Figura 5.35. Pérdida de Inserción Pasiva (PIL), para el Auricular RP – HPX7 “Panasonic” y los parámetros PIL y TIL para el ACR Quietcomfort 15 “BOSE”, ambos evaluados en este trabajo.

Para el caso PAA PAAR 10 “TELSATE”, la atenuación pasiva producida por este y cuantificada por PIL, es superada por el PAP H9A “PELTOR” evaluado por Almeida (ver Figura 5.33), en el rango 250 Hz y 4 kHz, con diferencias máximas de 12 dB presentadas en 2 kHz. Con relación a la atenuación total (activa + pasiva), el parámetro TIL muestra que el PAA PAAR 10 “TELSATE” es superado, al igual que el caso anterior, por el PAP

H9A “PELTOR” en el rango de las altas frecuencias de 500 Hz a 4 kHz. Sin embargo, el PAA PAAR 10 “TELSATE” muestra la mejor atenuación en frecuencias bajas donde el sistema CAR realiza su contribución.

Para los auriculares con micrófono, el AM Sigtronics S - 20 evaluado por Mckinley et al. muestra una mayor atenuación pasiva ilustrada por el parámetro PIL, en el rango de frecuencias de 125 Hz a 312 Hz, aproximadamente (ver Figura 5.34). Sin embargo, entre 312 Hz a 3 kHz es superado por el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” evaluado en este trabajo. La atenuación total proporcionada por el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” supera en todo el rango de frecuencia al dispositivo evaluado por Mckinley et al., cubriendo la diferencia producida entre 125 Hz y 312 Hz en la atenuación pasiva a través del sistema CAR (ver Figura 5.34). Sin embargo, el AM Sigtronics S – 20 muestra un pico en la atenuación en 4 kHz, donde supera la TIL suministrada por el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR”.

Para este caso el ACR Quietcomfort 15 “BOSE” supera en todo el rango de frecuencia a la atenuación proporcionada por el Auricular RP – HPX7 “PANASONIC”, tanto en la contribución pasiva como la activa. Sin embargo, unas pequeñas diferencias son apreciadas en los 2 kHz, donde el auricular RP – HPX7 “PANASONIC” supera en 1 dB a la atenuación total producida por el ACR Quietcomfort 15 “BOSE” evaluado en este trabajo. Esta puede ser considerada despreciable debido a que el valor es muy pequeño.

En general, se puede concluir que los dispositivos evaluados en este trabajo presentan un atenuación pasiva del ruido aceptable, siendo en algunos casos superados por los dispositivos convencionales para el caso del PAA PAAR 10 “TELSATE”, lo que se puede deberse a la implementación del sistema de CAR dentro de la copa de éstos, lo cual compromete el desempeño de la reducción de ruido en las altas frecuencias. Para los demás casos, ambos dispositivos evaluados en este trabajo mostraron mejor desempeño que los dispositivos convencionales, sobre todo en el rango de las bajas frecuencias donde el sistema CAR realiza su mejor trabajo.

5.4. ESTIMACIÓN DE LA ATENUACIÓN TOTAL (TA) PARA LOS DAA EVALUADOS

Según la ANSI/ASA S12.42 – 2010, la atenuación total (en inglés “*Total Attenuation*”, *TA*), proporcionada por los PAA debe ser la combinación de la atenuación pasiva medida utilizando el método REAT (descrita en ANSI/ASA S12.6), con la atenuación activa utilizando el método MIRE a través del AIL. Sin embargo, debido a que en este proyecto la obtención de resultados de atenuación pasiva a través del método REAT era imposible, va a ser realizada una estimación de los valores entregados de atenuación pasiva para el método REAT.

En una investigación realizada por Schroeter y Poesselt [Shoroeter y Poesselt, 1986] se determinó un modelo experimental para la estimación de los valores de atenuación del método REAT, este se puede ver ilustrado en la ecuación (6).

$$\hat{A} = -20 \log_{10} \left(10^{-\frac{PIL}{20}} + 10^{-\frac{MAFB-MAF-OE}{20}} \right) + PM \quad (6)$$

donde $\hat{A}$ es la estimación de REAT en dB, PIL es la Pérdida de Inserción Pasiva (PIL) obtenida para cada dispositivo evaluado, MAFB (“*Minimum Audible Field for Bone conduction*”) es el Mínimo Campo Audible para Conducción Ósea y MAF (“*Minimum Audible field threshold*”) es el Umbral del Campo Mínimo Audible. La diferencia entre ambos términos MAFB – MAF representa la medición o la estimación de la diferencia de NPS entre la conducción ósea BC y la transmisión vía aérea en la condición de medición abierto en dB, mientras que el término OE es el efecto de oclusión. El valor PM es el Enmascaramiento Fisiológico (“*Physiological Masking*”), el cual es producido por el Ruido Fisiológico PN que en condiciones de oclusión puede causar un efecto de pérdida de 6 dB en el umbral, originalmente descrito por Munson y Wiener (1992) y que tiene su mayor efecto en las bajas frecuencias.

A continuación se presentan los datos numéricos de algunos parámetros obtenidos del trabajo de Almeida [De Almeida, 2010], basados en la información suministrada por Schroeter y Poesselt [De Almeida et al., 2011].

Tabla 5.28. Factores para estimar los valores de atenuación del método REAT a través de la PIL, MAF - BMAF: diferencia de NPS en dB. OE y PM promedios de datos obtenidos de 11 tipos de dispositivos de protección auditiva tipo orejera. Enmascaramiento Fisiológico obtenido del promedio entre los filtros autores FG (“Frequenzgruppen”) y CB (“Critical Bands”).

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
MAFB - MAF (dB)	52,0	51,0	48,0	47,0	46,0	54,0	41,0
OE (dB)	16,9	13,7	6,8	4,5	0,7		
PM (dB)	4,3	1,5	0,5				

Con este modelo experimental se estiman los valores de atenuación pasiva del método REAT a través del MIRE, incluyendo factores de corrección apropiados, para finalmente estimar la atenuación total TA por la siguiente ecuación

$$TA_f = REAT_f + AIL_f \quad (7)$$

donde TA_f es la atenuación total estimada según ANSI/ASA S12.42 en cada banda de frecuencia, $REAT_f$ son los valores estimados de REAT y AIL_f son los valores de la pérdida de Inserción Activa (AIL). Se puede observar que la definición de TA es exactamente la misma utilizada para calcular la Pérdida de Inserción Total (TIL) $TIL = PIL + AIL$, con la diferencia que los valores de PIL son sustituidos por los valores de atenuación pasiva estimados para REAT.

A continuación se presentaran los resultados de la Atenuación Total (TA) estimada utilizando la ecuación (7). Los resultados de TA se comparan con la TIL obtenidos para los tres dispositivos de este trabajo, ya que representan la misma atenuación total. Para el caso

del AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” se considera la modalidad de aeroplano de un motor (*Single*), tal como fue utilizado en comparaciones anteriores.

Tabla 5.29. Valores de Atenuación Total (TA) estimada según el modelo de Schroeter y Poesselt y valores de TIL para el PAA PAAR 10 “TELSATE”, para cada banda de frecuencia.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TA Estimada – PAA TELSATE (dB)	21,8	31,2	30,8	25,5	26,1	34,5	33,1
TIL - PAA TELSATE (dB)	18,0	30,7	31,1	27,5	27,8	35,6	37,4

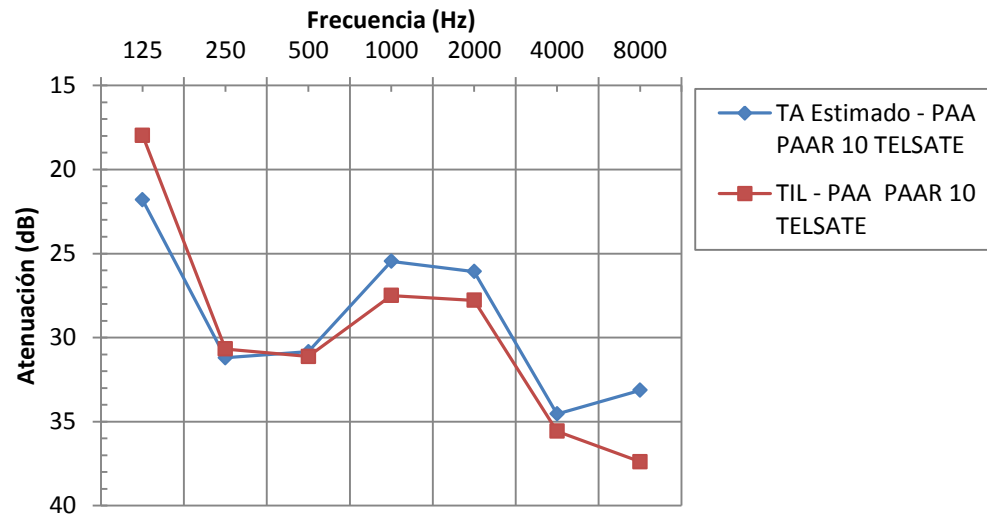


Figura 5.36. Promedio de Atenuación Total (TA) estimada según el modelo de Schroeter y Poesselt y Promedio de TIL para el PAA PAAR 10 TELSATE.

Tabla 5.30. Valores de Atenuación Total (TA) estimada según el modelo de Schroeter y Poesselt y valores de TIL para el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR”.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TA Estimada – AMA PELTOR single (dB)	23,5	22,1	24,3	29,9	31,5	32,5	30,9
TIL – ACA PELTOR Single (dB)	19,6	21,4	25,3	32,7	33,8	33,4	34,4

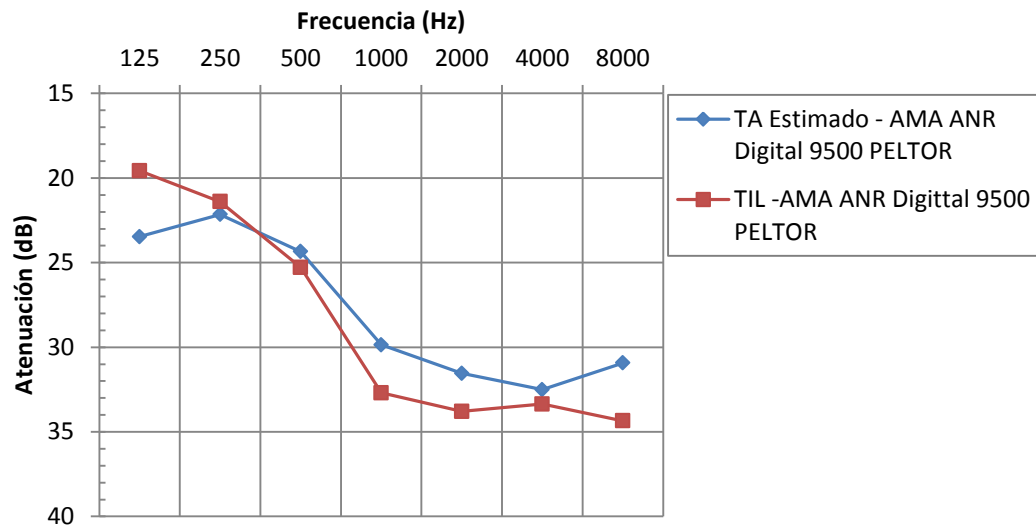


Figura 5.37. Promedio de Atenuación Total (TA) estimada según el modelo de Schroeter y Poesselt y Promedio de TIL, para el AMA ANR Digital 9500 PELTOR en Single.

Tabla 5.31. Valores de Atenuación Total (TA) estimada según el modelo de Schroeter y Poesselt y valores de TIL para el ACR Quietcomfort 15 BOSE.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TA Estimada – ACR BOSE (dB)	29,0	24,0	23,2	16,6	18,4	27,8	26,7
TIL - ACR BOSE (dB)	24,8	22,6	22,9	17,0	19,0	28,2	28,5

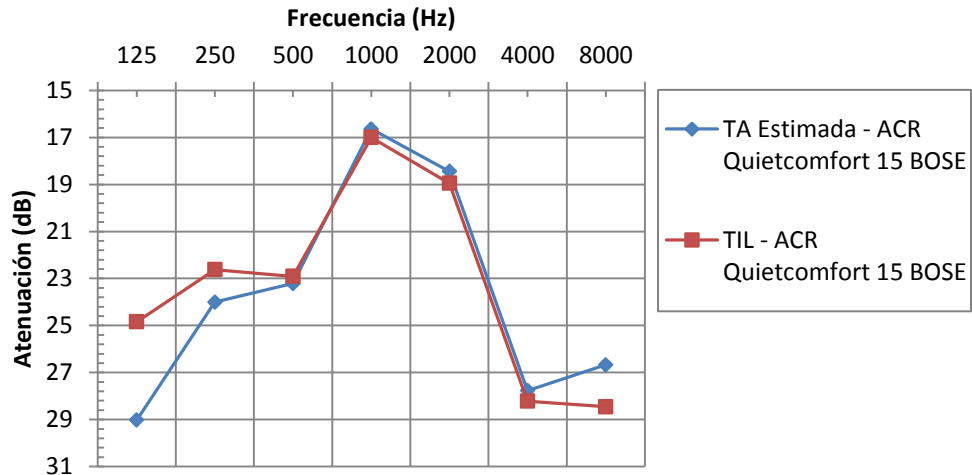


Figura 5.38. Promedio de Atenuación Total (TA) estimada según el modelo de Schroeter y Poesselt y Promedio de TIL, para el ACR Quietcomfort 15 BOSE.

En general, la TA estimada según el modelo de Schroeter y Poesselt cumple satisfactoriamente con la predicción de la atenuación total del ruido, con las diferencias más grandes en los 125 Hz, 1 kHz y 2 kHz para el caso de los dispositivos evaluados en este trabajo, con diferencias máximas de 4 dB en 125 Hz (ver Figuras 5.36, 5.37 y 5.38). En todos los casos se aprecia que los valores de TA estimados superan a la TIL obtenidos experimentalmente entre el rango de frecuencias de 125 Hz y 250 Hz. Esto se atribuye a que en el modelo experimental se consideran los factores de Enmascaramiento Fisiológico PM y Efecto de Oclusión OE, los cuales influyen mayormente en las frecuencias bajas, sobreestimando los valores de atenuación total entregados.

6. CONCLUSIONES

La metodología MIRE propuesta por la reciente actualización de la norma ANSI/ASA S12.42-2010, demostró ser bastante eficaz para evaluar los dispositivos auditivos con CAR y cuantificar su desempeño. El método REAT sólo puede ser utilizado para determinar la atenuación pasiva de estos dispositivos puesto que el ruido inherente producido por el sistema de CAR es un factor que limita la utilización de este método. Las normas SS-EN 352-5-2003 e ISO 4869.6, no resultaron ser de gran utilidad para la evaluación de dispositivos auditivos activos, puesto que no entregaban información específica sobre el tipo de equipamiento a utilizar, secuencia de medición y condiciones acústicas necesarias para realizar las pruebas.

Los resultados obtenidos en los diferentes dispositivos demuestran que la incorporación del sistema de CAR produce un aporte considerable en la reducción total del ruido, teniendo su mayor influencia en las bajas frecuencias, que es donde la atenuación pasiva tiene su mayor falencia. Existe una influencia negativa presentada en la mayoría de los dispositivos evaluados en este trabajo, y también en otros que poseen el sistema CAR, que ocurre por encima de los 500 Hz, aproximadamente. Esta influencia negativa, si bien no produce una disminución considerable en la atenuación total, es un factor latente que puede ser producido quizás por el efecto tardío de adaptación del sistema debido a que el sistema electrónico no es capaz de producir una señal de anti-ruido con una velocidad de salida adecuada, interfiriendo en la fase de éste y produciendo una superposición de las ondas sonoras en las frecuencias donde se produce este fenómeno. Hay que considerar también la naturaleza impredecible del sonido en las altas frecuencias, donde se pueden producir fenómenos de resonancia influenciados por la cavidad de la copa del dispositivo. Este fenómeno de degradación es atribuido también a la incorporación de los implementos electrónicos en la copa de los dispositivos.

Hasta no clarificar las verdaderas causas de este fenómeno en altas frecuencias sólo queda presumir cuáles serán. Esto, sin embargo, es motivo de estudio para otro trabajo.

También fue comprobado que tales dispositivos son independientes del NPS para atenuar el ruido.

En los resultados individuales, el ACR Quietcomfort 15 BOSE presentó la mejor ganancia en la atenuación activa del ruido de los dispositivos estudiados, lo que es muy destacable ya que este dispositivo está diseñado para fines de entretenimiento y no de protección auditiva, lo que deja claro la calidad de los productos diseñados por la empresa de audio “BOSE”.

En el caso del AMA ANR Digital 9500 “PELTOR” este presentó una atenuación activa del ruido aceptable con un estrecho rango de frecuencias en su funcionamiento (125 Hz a 250 Hz y 4 kHz a 8 kHz), en comparación con los otros dos dispositivos evaluados. Además, presentó una atenuación pasiva satisfactoria, siendo ésta la que produce el aporte mayoritario a la atenuación total del ruido. Lo que es destacable para un dispositivo aplicado a la comunicación, es la incorporación de una unidad de control externa la cual permitía escoger una modalidad de funcionamiento basada en tres tipos diferentes de ambientes sonoros para reducir el ruido en una cabina de helicóptero, en una cabina de aeroplano de un motor de hélice y en una cabina de un aeroplano de dos motores de hélices. Sin embargo, estas modalidades de funcionamiento no mostraron diferencias considerables. Se debe notar que si una investigación sólo se respalda en estos resultados para definir el verdadero desempeño de este dispositivo, no sería correcto pues se debería conectar los adaptadores Jack (conexión micrófono y altoparlante), a una unidad de simulación de tales ambientes sonoros y ver si con esta conexión del Auricular con Micrófono Activo el sistema de CAR era capaz de producir una reducción activa del ruido diferente a la obtenida por este trabajo. Además, cabe señalar que esta unidad de control era el único medio de visualizar si el sistema de CAR estaba en funcionamiento, puesto que no poseía un activador manual del sistema de CAR.

Para el caso del PAA PAAR 10 TELSATE este presentó la mejor atenuación pasiva del ruido, debido a su robusto diseño de copas grandes, aunque, en algunos casos, puede ocasionar incomodidad en su uso. Además, se observó una satisfactoria atenuación activa

de ruido, destacando el hecho que fue mayor a la entregada por el AMA ANR Digital 9500 “PELTOR”.

Con respecto a la consideración de la Conducción Ósea BC, se concluye que es prácticamente despreciable para la consideración en el desempeño de la reducción activa del ruido, debido a que la mayor influencia de este fenómeno se presenta sobre los 2 kHz, donde el sistema de CAR no produce un efecto considerable. Si se debe notar que los resultados obtenidos en este trabajo pueden verse sobreestimados sobre los 2 kHz, siendo la reducción pasiva del ruido la más perjudicada. Saber en qué grado se sobreestiman los resultados sería también tema de otro trabajo.

Es recomendable la evaluación de al menos cinco DAA para tener un resultado más representativo para categorizar todos los dispositivos. También se recomienda realizar evaluaciones de comunicación, tales como el test de inteligibilidad y otros.

La existencia de ambientes con niveles de ruido elevados es un hecho concreto en nuestra sociedad tecnológicamente desarrollada. Las sensaciones auditivas provocadas por estas fuentes de ruido en las personas pueden ser molestas, incómodas, tener efectos perjudiciales para la salud, interferir en las comunicaciones o simplemente arruinar un rato de entretenimiento. El desarrollo de la tecnología y estudios en el área de la acústica han contribuido a reducir esas afecciones negativas de la exposición a altos niveles de ruido, mediante el diseño de sistemas basados en la técnica de CAR implementados en distintos tipos de dispositivos auditivos.

Este trabajo apunta a incentivar el uso de estos dispositivos con CAR y los resultados pueden también ser considerados en la elaboración de una norma Chilena que considere los ambientes laborales en Chile donde puedan ser utilizados este tipo de tecnología, su correcto uso y aplicación. Finalmente, se puede mencionar que, a pesar de su alto costo en el mercado, estos dispositivos con CAR pueden ofrecer beneficios sustancialmente mayores que los dispositivos pasivos tradicionales, en especial para aplicaciones donde se requiere de un alto rendimiento de protección comunicación y entretenimiento.

7. BIBLIOGRAFIA

- [ANSI/ASA S12.42 - 2010] American National Standard Institute (ANSI). ANSI/ASA S12.42 – 2010 (Revision de ANSI S12.42 - 1995) “*Methods for the Measurement of Insertion Loss of Hearing Protection Devices in Continuous or Impulsive Noise Using Microphone-in-Real-Ear or Acoustic Test Fixture Procedures*” (2010).
- [Alba y Parria, 1997] Alba, J.A., Parria, P.C., “*Filtro Analógico para la Cancelación Activa de Ruido en Protectores Auditivos*”, TecniAcustica, Instituto de Acustica CSIC, Madrid (1997).
- [Berger, 1980] Berger, E.H., E.A.R. “*Hearing Protectors Performance: How they works and whats goes wrong in the real world,*” Sound and Vibration, 14(10), pp. 14-17 (1980).
- [Berger, 2002] Berger, E.H., M.S., “*Active Noise Reduction (ANR) in Hearing Protection Does it Make Sense For Industrial Applications?*”, 27th Conference of the National Hearing Conservation Association (2002).
- [Botsford, 1972] Botsford, J.H., “*Ear Protectors – Their Characteristic and Uses*”, Sound and Vibration 6(11), pp. 24-29 (1972).
- [Buck y Zimpfer, 2005] Buck, K., Zimpfer, V.J., “*Active Hearing Protection Systems and their Performance*”, Personal Hearing Protector Including Active Noise Reduction, NATO Research and Technology Organization, pp. 3-22 (2005).
- [De Almeida, 2010] De Almeida, D., “*Atenuación de Ruido de Protectores Auditivos Tipo Orejera Según la Técnica MIRE*”, Tesis de Pregrado, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile (2010).
- [De Almeida, Gerges y Arenas, 2011] De Almeida, D., Gerges, S.N.Y., Arenas, J.P., MIRE-IL methodology applied to measuring the noise attenuation of earmuff hearing protectors, Applied Acoustics 72(7), pp. 451-457 (2011).
- [Fedtke y Richter, 1999] Fedtke, T, Richter, U., “*Active Noise Reduction Performance of Hearing Protectors and Headphones on Artificial Heads*”, Sixth International Congress on Sound and Vibration, 7(1), 1091 -1098 (1999).
- [Gerger y Arenas, 2010] Gerges, S.N.Y, Arenas, J.P., “*Fundamentos del Control del Ruido y Vibraciones*”, 2^{da} Edición, NR Editora, Florianópolis, Brasil (2010).

- [ADDA, 2010] Grupo de Investigación ADDA, 2010, “Control Activo de Ruido”, extraído el 3 de noviembre de 2010, del sitio web: http://www.diac.upm.es/acceso_profesores/grupos_I+D/adda/Ruido/ruido.htm
- [Headwise, 2010] Headwise., Moy, C., “Active Noise Reduction Headphone System”, Extraído el 13 de Noviembre de 2010 de la web: <http://gilmore2.chem.northwestern.edu/tech/index.htm>.
- [Schoeter y Poessel, 1985] J., Schoeter, C., Poesselt “*The use of Acoustical Test Fixture for measurement of Hearing Protectors Attenuation, Part 2: Modeling the external ear, simulating Bone Conduction and Comparing Test Fixture and Real Ear data*”, Journal of the Acoustical Society of America, 80(2), 505 – 527 (1985).
- [Mercy, Tubb y James, 2005] Mercy, S.E., Tubb, C., James, S.H. “*Experimentation to address Appropriate Test Technique for Measuring The Attenuation Provided by Double ANR Hearing Protectors*”, pp. 18-14 (2005).
- [Mckinley, Steuer y Nixon, 1994] Mckinley, R.L., Steuer, J.W., Nixon, C.W., “*Estimated Reduction In Noise-Induced Hearing Loss by Application of ANR Headset*”, Scientific Basis of Noise-Induced Hearing Loss, chapter 28, 347-360 (1994).
- [De Diego, Gonzales y Cervantes, 1997] M. de Diego, A. Gonzales, E. Cervantes, “*Control de Ruido en un Sistema de Escapes de Automóviles*”, TecniAcustica, Universidad Politecnica de Valencia (1997).
- [Milosevic y Schaufellberger, 2005] Milosevic, A., Schaufellberger, U., “*Active Noise Control*”, Diploma Thesis, Department of Electrical Engineering, University of Applied Sciences Rapperswil HSR (2005).
- [Monsalve, Arenas, Colina y Pfretzchner, 1995] Monsalve, A.M., Arenas, J.P., de la Colina, C.T., Pfretzchner, J.S., “*Protectores Auditivos Analógicos por medio de Control Activo de Ruido*”, TecniAcustica, Instituto de Acústica CSIC, Madrid (1995).
- [Perala y Casali, 2009] Perala, C.H., Casali, J.G., “*Human Subject Investigation of MIRE Microphone Location During Insertion Loss Testing of Active Noise Reduction Hearing Protector in Active and Pasive Modes*”, Noise Control Eng. J. 57(5), 442-458 (2009).
- [Steenken, 2005] Steeneken, H.J.M., “*Assessment and Standardization of Personal Hearing Protection Including Active Noise Reduction*”, Personal Hearing Protector Including Active Noise Reduction, NATO Research And Technology Organization, paper 4 -20 (2005).

- [SS-EN 352 -5 - 2002]Swedish Standards Institute SVENSK STANDARD SS-EN 352 – 5, “*Hearing Protectors – Safety Requirements and Testing – Part 5: Active Noise Reduction ear-muffs*” (2002).
- [Thom, Peters, McIntyre, Winters, Tesche y Davies, 2005] Thom, J., Peters, C., McIntyre, E., Winters, M., Tesche, K., Davies, H., “*Active Noise Control Communication Headset For Entertainment Industry*”, Safety and Health in Arts Production and Entertainment (SHAPE) (2005).
- [The Indian Blogger] Blog de la India: Plataforma de internet para intercambio de información técnica de la India, información extraído el 4 de octubre del 2010, de la web <http://bloggerpundit.wordpress.com/>
- [Voix y Zeidan, 2010]Voix, J., Zeidan, J., “*Is It Necessary To Measure Hearing Protectors Attenuation At 4 and 8 kHz?*”, International Journal on Industrial Risks Engineering, 3(1), 32-44 (2010).
- [Zannin, 1990]Zannin, P.H., “*Estudo sobre os Efeitos dos Parâmetros do Protetor Auditivo Tipo Concha na Atenuação de Ruído*”, Dissertação de Mestrado, UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, Brasil (1990).

8. ANEXOS

8.1. RANGO DINÁMICO

A continuación serán presentados los valores que fueron utilizados para el rango dinámico dentro de las consideraciones técnicas de la sala de ensayo.

Tabla 8.1. Valores de Nivel de Presión Sonora de 80 – 110 dB, con la señal de prueba de Ruido Blanco y Ruido de Fondo.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Nivel de Presión Sonora 80 (dB)	54,8	51,4	54,7	63,2	64,2	69,6	79,9
Nivel de Presión Sonora 85 (dB)	59,7	56,5	59,5	68,1	69,2	74,6	84,6
Nivel de Presión Sonora 90 (dB)	65,6	62,3	65,1	73,6	75,0	80,2	89,9
Nivel de Presión Sonora 95 (dB)	70,4	67,5	70,0	78,9	79,8	85,0	94,9
Nivel de Presión Sonora 100 (dB)	75,8	72,8	75,2	84,1	85,1	90,3	100,1
Nivel de Presión Sonora 105 (dB)	80,6	77,5	79,9	88,7	89,8	94,9	104,6
Nivel de Presión Sonora 110 (dB)	85,0	82,1	84,3	93,3	94,2	99,5	109,1
Ruido de Fondo (dB)	32,8	31,7	31,2	31,6	32,9	35,5	41,1

8.2. CAMPO SONORO

En la siguiente tabla se ilustran los valores de Nivel de Presión Sonora obtenidos en las consideraciones técnicas del campo sonoro.

Tabla 8.2. Valores Niveles Presiones Sonoras en las diferentes posiciones ($\pm 5cm$), 1, 2, 3, 4, 5, 6, frente, atrás, arriba, abajo, izquierda y derecha.

Frecuencia (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Posición 1 (dB)	Oído Izquierdo	75,6	72,6	74,9	82,9	84,8	90,6	99,6
	Oído Derecho	75,8	72,2	74,3	82,5	84,3	88,5	99,7
Posición 2 (dB)	Oído Izquierdo	75,3	72,9	75,3	83,2	85,2	91,5	100,7
	Oído Derecho	75,3	72,9	75,3	83,2	85,2	91,5	100,7
Posición 3 (dB)	Oído Izquierdo	75,9	72,3	74,7	83,1	84,9	91,1	99,6
	Oído Derecho	75,8	73,0	74,0	82,6	84,3	88,2	100,1
Posición 4 (dB)	Oído Izquierdo	75,0	71,2	75,3	83,3	85,0	90,9	100,0
	Oído Derecho	75,6	72,7	74,9	82,9	84,5	88,6	100,9
Posición 5 (dB)	Oído Izquierdo	75,4	73,2	75,2	83,6	84,3	90,8	99,6
	Oído Derecho	76,0	72,9	75,0	82,8	84,2	88,3	100,7
Posición 6 (dB)	Oído Izquierdo	75,7	73,2	75,3	83,6	85,1	91,5	99,5
	Oído Derecho	75,8	72,9	75,1	83,7	84,0	88,2	100,4

8.3. MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS PIL, AIL Y TIL OBTENIDOS

A continuación serán presentados los resultados de todos los valores de NPS realizados en las diferentes condiciones (abierto, cerrado apagado - off y cerrado encendido - on), obtenidos para cada uno de los diez sujetos de prueba en cada dispositivo evaluado.

Tabla 8.3. Valores de NPS para las tres condiciones de medición (Abierto L_0 , cerrado apagado $L_c - \text{off}$, cerrado encendido $L_c - \text{on}$).

Protector Auditivo Activo PAAR 10 TELSATE									
Frecuencia (Hz)			125	250	500	1000	2000	4000	8000
Sujeto 1	Lo	Oído - Izquierdo	79,0	76,6	78,5	87,1	88,6	92,8	104,0
		Oído - Derecho	79,2	77,2	79,1	87,4	88,5	92,8	104,5
	Lc - off	Oído - Izquierdo	67,6	55,9	56,3	56,8	56,9	59,1	66,2
		Oído - Derecho	69,2	58,7	58,7	57,1	56,6	58,0	70,6
	Lc - on	Oído - Izquierdo	59,3	45,1	46,8	60,1	60,6	59,4	66,1
		Oído - Derecho	61,5	46,7	48,5	60,6	59,8	57,7	69,7
Sujeto 2	Lo	Oído - Izquierdo	75,6	73,3	75,7	83,3	85,9	92,9	102,1
		Oído - Derecho	75,9	74,0	75,7	84,2	86,4	94,9	105,1
	Lc - off	Oído - Izquierdo	64,5	53,0	54,2	50,6	53,2	57,9	64,8
		Oído - Derecho	68,2	57,6	56,9	55,1	54,3	59,0	64,5
	Lc - on	Oído - Izquierdo	55,1	41,0	43,4	54,8	59,2	59,0	65,1
		Oído - Derecho	59,6	44,5	44,7	57,9	60,4	60,9	64,7
Sujeto 3	Lo	Oído - Izquierdo	78,4	76,2	78,8	86,4	88,8	95,7	103,5
		Oído - Derecho	78,5	76,1	78,1	87,3	88,5	95,5	105,3
	Lc - off	Oído - Izquierdo	66,1	54,2	56,6	51,5	53,8	59,0	66,2
		Oído - Derecho	68,4	57,4	57,3	53,0	54,3	59,7	65,7
	Lc - on	Oído - Izquierdo	57,2	43,3	46,8	55,5	57,6	59,4	65,6
		Oído - Derecho	59,8	45,0	46,7	57,0	57,8	58,2	64,9
Sujeto 4	Lo	Oído - Izquierdo	78,6	76,2	78,2	86,3	88,2	91,8	102,6
		Oído - Derecho	78,7	76,3	78,4	87,9	88,5	94,4	104,4
	Lc - off	Oído - Izquierdo	66,7	54,7	56,1	54,4	55,8	57,2	61,4
		Oído - Derecho	68,1	57,5	57,8	54,5	54,0	56,4	61,8
	Lc - on	Oído - Izquierdo	58,1	43,5	46,0	57,7	60,1	57,4	61,4
		Oído - Derecho	60,0	45,2	46,8	57,9	57,6	56,4	61,1

Continúa en la próxima página

Sujeto 5	Lo	Oído - Izquierdo	78,9	76,2	78,7	87,0	89,1	98,1	106,1
		Oído - Derecho	79,2	77,3	79,2	87,7	88,0	94,8	104,5
	Lc - off	Oído - Izquierdo	70,9	59,9	58,8	60,8	60,2	60,5	77,8
		Oído - Derecho	72,3	62,4	61,7	61,6	58,1	56,8	74,1
	Lc - on	Oído - Izquierdo	64,3	49,5	50,2	64,0	64,0	60,8	77,8
		Oído - Derecho	64,6	49,9	50,2	63,3	61,6	57,4	73,8
Sujeto 6	Lo	Oído - Izquierdo	79,3	76,9	79,3	87,5	89,1	93,5	102,0
		Oído - Derecho	79,6	77,6	79,3	88,1	89,5	94,6	104,6
	Lc - off	Oído - Izquierdo	68,9	56,0	57,1	54,6	56,1	60,3	68,9
		Oído - Derecho	70,3	59,3	59,5	57,0	56,6	57,5	67,2
	Lc - on	Oído - Izquierdo	59,8	44,8	47,7	58,3	60,2	59,7	67,5
		Oído - Derecho	61,9	46,8	48,9	60,0	60,1	57,9	66,7
Sujeto 7	Lo	Oído - Izquierdo	75,9	73,7	76,5	84,2	86,5	92,3	99,7
		Oído - Derecho	76,2	74,5	76,7	84,3	86,4	94,4	103,8
	Lc - off	Oído - Izquierdo	74,2	61,4	58,5	60,8	58,6	60,6	64,4
		Oído - Derecho	69,3	58,4	57,0	56,0	57,5	57,2	63,4
	Lc - on	Oído - Izquierdo	66,8	49,6	47,1	62,8	63,4	62,2	65,8
		Oído - Derecho	61,2	45,4	46,1	59,3	62,7	58,7	65,8
Sujeto 8	Lo	Oído - Izquierdo	79,3	76,5	78,5	86,7	89,3	94,9	103,7
		Oído - Derecho	79,5	77,0	79,3	88,1	88,9	94,8	103,7
	Lc - off	Oído - Izquierdo	68,1	55,7	55,6	56,1	58,2	59,3	67,7
		Oído - Derecho	71,3	60,5	59,9	58,4	59,8	59,3	73,1
	Lc - on	Oído - Izquierdo	59,4	44,2	45,4	60,7	63,2	59,8	65,3
		Oído - Derecho	64,2	48,2	49,6	63,4	65,4	60,5	70,8
Sujeto 9	Lo	Oído - Izquierdo	79,7	77,3	79,3	87,9	89,3	99,7	106,9
		Oído - Derecho	79,9	77,9	79,7	88,3	89,6	97,4	103,9
	Lc - off	Oído - Izquierdo	66,8	54,9	57,4	54,5	55,6	60,0	65,5
		Oído - Derecho	69,0	58,4	59,3	54,3	55,9	57,3	63,7
	Lc - on	Oído - Izquierdo	58,1	43,8	47,6	57,2	60,2	60,6	65,2
		Oído - Derecho	60,9	45,8	47,9	57,7	59,7	57,6	63,2
Sujeto 10	Lo	Oído - Izquierdo	78,9	76,2	78,7	87,0	89,1	98,1	106,1
		Oído - Derecho	79,2	77,3	79,2	87,7	88,0	94,8	104,5
	Lc - off	Oído - Izquierdo	70,9	59,9	58,8	60,8	60,2	60,5	77,8
		Oído - Derecho	72,3	62,4	61,7	61,6	58,1	56,8	74,1
	Lc - on	Oído - Izquierdo	64,3	49,5	50,2	64,0	64,0	60,8	77,8
		Oído - Derecho	64,6	49,9	50,2	63,3	61,6	57,4	73,8

Tabla 8.4. Valores de NPS en las tres condiciones de medición realizadas (abierto Lo, cerrado apagado Lc – off, cerrado encendido Lc – on), para el Auricular con Micrófono Activo ANR Digital 9500 PELTOR en las tres modalidades de ambientes sonoros (*Heli*, *Single*, *Twin*).

Auricular con Micrófono Activo ANR Digital 9500 PELTOR									
Frecuencia (Hz)			125	250	500	1000	2000	4000	8000
Sujeto 1	Lo	Oído Izquierdo	79,0	76,6	78,9	87,1	88,7	92,9	104,1
		Oído Derecho	79,1	77,2	79,2	87,7	88,5	92,6	104,0
	Lc - off	Oído Izquierdo	68,6	59,4	51,3	53,3	54,9	57,4	64,6
		Oído Derecho	70,4	61,0	53,0	53,1	56,3	59,3	67,6
	Lc - on, Heli	Oído Izquierdo	57,6	54,8	52,1	54,6	55,1	58,7	64,3
		Oído Derecho	59,8	56,0	53,6	54,2	56,7	59,5	67,3
	Lc - on, Single	Oído Izquierdo	57,8	54,6	51,9	54,4	55,0	57,9	64,0
		Oído Derecho	60,0	55,9	53,6	54,1	56,8	59,6	67,0
	Lc - on, Twin	Oído Izquierdo	57,7	54,8	52,1	54,4	55,0	58,3	64,1
		Oído Derecho	59,9	56,0	53,5	54,0	56,7	59,4	67,0
Sujeto 2	Lo	Oído Izquierdo	71,4	69,1	71,6	79,8	82,4	92,6	101,9
		Oído Derecho	71,7	69,9	72,0	80,4	82,3	91,4	102,2
	Lc - off	Oído Izquierdo	59,9	50,7	42,5	45,5	45,5	54,6	63,0
		Oído Derecho	61,9	52,0	44,2	43,9	44,3	53,1	62,7
	Lc - on, Heli	Oído Izquierdo	53,9	51,2	48,9	52,5	51,6	60,2	68,4
		Oído Derecho	55,4	51,8	49,8	49,9	49,3	58,6	68,1
	Lc - on, Single	Oído Izquierdo	54,2	51,3	48,7	52,4	51,7	60,0	68,5
		Oído Derecho	55,7	51,9	49,8	49,4	49,1	58,8	68,4
	Lc - on, Twin	Oído Izquierdo	53,7	50,1	47,2	51,1	51,3	59,6	67,8
		Oído Derecho	54,6	50,7	48,4	47,7	49,3	57,5	65,9
Sujeto 3	Lo	Oído Izquierdo	78,3	76,3	78,9	86,4	88,7	96,0	103,4
		Oído Derecho	78,4	76,2	78,2	87,4	88,3	94,9	104,7
	Lc - off	Oído Izquierdo	69,3	58,3	50,1	51,1	53,8	61,2	69,8
		Oído Derecho	67,4	56,5	48,3	48,5	50,3	61,6	72,1
	Lc - on, Heli	Oído Izquierdo	57,7	52,9	51,3	52,9	54,2	61,9	70,6
		Oído Derecho	56,0	51,3	49,0	49,7	50,7	62,5	73,5
	Lc - on, Single	Oído Izquierdo	57,6	52,7	50,9	52,7	54,1	61,6	70,0
		Oído Derecho	56,2	51,2	48,9	49,7	50,7	62,2	72,7
	Lc - on, Twin	Oído Izquierdo	57,5	52,7	50,7	52,5	54,0	61,5	69,8
		Oído Derecho	56,2	51,3	48,8	49,5	50,6	61,9	72,4

Continúa en las próximas dos páginas

Sujeto 4	Lo	Oído Izquierdo	78,8	76,2	78,1	86,5	88,4	92,0	102,4
		Oído Derecho	78,9	76,2	78,5	87,9	88,7	95,4	104,1
	Lc - off	Oído Izquierdo	70,9	60,7	53,2	55,5	55,8	59,8	66,1
		Oído Derecho	69,4	60,1	52,2	51,3	50,8	62,2	66,4
	Lc - on, Heli	Oído Izquierdo	60,5	55,7	53,7	56,7	56,2	60,2	65,0
		Oído Derecho	59,4	55,0	52,5	52,6	51,1	62,5	66,4
	Lc - on, Single	Oído Izquierdo	60,5	55,6	53,8	56,5	56,2	60,2	65,4
		Oído Derecho	59,2	55,0	52,5	52,8	51,1	62,4	66,1
	Lc - on, Twin	Oído Izquierdo	60,4	55,6	53,7	56,6	56,3	60,5	65,3
		Oído Derecho	59,2	54,9	52,6	52,2	51,2	62,5	65,9
Sujeto 5	Lo	Oído Izquierdo	79,0	76,6	78,8	87,1	89,1	98,2	106,2
		Oído Derecho	79,3	77,3	79,0	87,7	88,8	96,0	104,7
	Lc - off	Oído Izquierdo	77,5	69,4	61,3	60,7	56,2	67,6	86,4
		Oído Derecho	76,2	68,1	60,6	58,8	56,4	63,1	81,7
	Lc - on, Heli	Oído Izquierdo	66,8	62,8	61,5	62,6	57,2	65,7	84,6
		Oído Derecho	64,3	60,8	59,7	58,9	56,0	60,3	79,7
	Lc - on, Single	Oído Izquierdo	66,8	62,7	61,6	62,6	57,2	64,9	85,4
		Oído Derecho	64,5	60,9	59,7	58,8	56,0	60,2	80,2
	Lc - on, Twin	Oído Izquierdo	67,3	63,0	61,7	62,5	56,7	67,4	84,8
		Oído Derecho	65,1	60,9	59,6	57,9	55,9	61,6	79,4
Sujeto 6	Lo	Oído Izquierdo	79,4	76,8	79,0	87,5	89,4	93,6	102,3
		Oído Derecho	79,7	77,5	79,3	87,9	89,5	95,9	104,6
	Lc - off	Oído Izquierdo	72,0	61,2	53,0	53,2	56,2	61,2	70,8
		Oído Derecho	71,8	62,0	54,5	53,9	55,6	61,8	71,9
	Lc - on, Heli	Oído Izquierdo	59,9	56,2	54,3	54,7	56,5	62,4	71,6
		Oído Derecho	60,8	56,8	55,2	54,7	56,3	62,5	71,3
	Lc - on, Single	Oído Izquierdo	60,8	56,5	54,5	54,7	56,8	62,6	71,3
		Oído Derecho	61,6	57,1	55,3	54,6	56,7	62,7	71,1
	Lc - on, Twin	Oído Izquierdo	59,1	55,5	53,3	54,2	56,7	61,6	69,2
		Oído Derecho	60,8	56,7	55,0	54,5	56,2	62,5	71,9
Sujeto 7	Lo	Oído Izquierdo	76,0	74,0	75,9	84,0	86,5	91,7	100,0
		Oído Derecho	76,2	74,4	76,8	85,3	86,7	94,5	104,5
	Lc - off	Oído Izquierdo	67,9	56,7	48,3	50,3	52,7	57,6	61,2
		Oído Derecho	66,8	57,4	49,7	48,3	49,1	56,6	60,7
	Lc - on, Heli	Oído Izquierdo	53,9	50,0	48,5	51,4	53,2	59,5	61,6
		Oído Derecho	53,5	50,8	49,9	48,4	50,3	57,9	61,1
	Lc - on, Single	Oído Izquierdo	53,5	49,7	48,2	51,2	53,2	59,6	61,3
		Oído Derecho	53,4	50,8	49,7	48,5	50,3	57,8	60,8
	Lc - on, Twin	Oído Izquierdo	53,6	49,6	48,0	51,1	53,1	59,5	61,2
		Oído Derecho	53,9	50,8	49,6	48,4	50,1	57,6	60,6

Sujeto 8	Lo	Oído Izquierdo	79,3	76,5	78,7	86,7	89,2	94,3	103,9
		Oído Derecho	79,4	77,0	79,5	88,6	89,1	96,1	104,0
	Lc - off	Oído Izquierdo	70,7	60,0	52,9	57,4	57,7	59,3	67,1
		Oído Derecho	69,5	59,5	52,9	52,8	53,7	61,4	70,3
	Lc - on, Heli	Oído Izquierdo	59,3	54,3	53,2	58,4	58,1	60,5	67,0
		Oído Derecho	58,1	54,1	53,3	53,5	54,6	62,7	70,1
	Lc - on, Single	Oído Izquierdo	59,7	54,5	53,4	58,5	58,0	60,5	66,7
		Oído Derecho	58,4	54,1	53,4	53,5	54,4	62,8	70,1
	Lc - on, Twin	Oído Izquierdo	59,3	54,5	53,2	58,4	58,1	60,4	66,9
		Oído Derecho	58,2	54,1	53,3	53,6	54,5	62,4	69,7
Sujeto 9	Lo	Oído Izquierdo	79,3	76,5	78,7	86,7	89,2	94,3	103,9
		Oído Derecho	79,4	77,0	79,5	88,6	89,1	96,1	104,0
	Lc - off	Oído Izquierdo	70,7	60,0	52,9	57,4	57,7	59,3	67,1
		Oído Derecho	69,5	59,5	52,9	52,8	53,7	61,4	70,3
	Lc - on, Heli	Oído Izquierdo	59,3	54,3	53,2	58,4	58,1	60,5	67,0
		Oído Derecho	58,1	54,1	53,3	53,5	54,6	62,7	70,1
	Lc - on, Single	Oído Izquierdo	59,7	54,5	53,4	58,5	58,0	60,5	66,7
		Oído Derecho	58,4	54,1	53,4	53,5	54,4	62,8	70,1
	Lc - on, Twin	Oído Izquierdo	59,3	54,5	53,2	58,4	58,1	60,4	66,9
		Oído Derecho	58,2	54,1	53,3	53,6	54,5	62,4	69,7
Sujeto 10	Lo	Oído Izquierdo	79,0	76,6	78,8	87,1	89,1	98,2	106,2
		Oído Derecho	79,3	77,3	79,0	87,7	88,8	96,0	104,7
	Lc - off	Oído Izquierdo	77,5	69,4	61,3	60,7	56,2	67,6	86,4
		Oído Derecho	76,2	68,1	60,6	58,8	56,4	63,1	81,7
	Lc - on, Heli	Oído Izquierdo	66,8	62,8	61,5	62,6	57,2	65,7	84,6
		Oído Derecho	64,3	60,8	59,7	58,9	56,0	60,3	79,7
	Lc - on, Single	Oído Izquierdo	66,8	62,7	61,6	62,6	57,2	64,9	85,4
		Oído Derecho	64,5	60,9	59,7	58,8	56,0	60,2	80,2
	Lc - on, Twin	Oído Izquierdo	67,3	63,0	61,7	62,5	56,7	67,4	84,8
		Oído Derecho	65,1	60,9	59,6	57,9	55,9	61,6	79,4

Tabla 8.5. Valores de NPS obtenidos en las diferentes condiciones de medición (abierto Lo, cerrado apagado Lc – off, cerrado encendido Lc – on), para el Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 BOSE.

Auricular con Cancelación de Ruido Quietcomfort 15 BOSE									
Frecuencia (Hz)			125	250	500	1000	2000	4000	8000
Sujeto 1	Lo	Oído - Izquierdo	79,1	76,7	78,7	87,0	88,6	92,1	104,2
		Oído - Derecho	79,2	77,2	79,1	87,9	88,5	92,5	104,8
	Lc - off	Oído - Izquierdo	80,5	76,4	71,7	73,4	70,3	70,5	84,0
		Oído - Derecho	80,6	77,4	72,9	74,7	69,6	70,1	86,7
	Lc - on	Oído - Izquierdo	57,3	58,0	59,9	72,2	71,2	70,9	84,1
		Oído - Derecho	59,2	59,0	60,8	74,4	71,1	70,1	85,8
Sujeto 2	Lo	Oído - Izquierdo	75,3	73,1	75,5	83,1	85,6	91,9	101,1
		Oído - Derecho	75,6	73,8	75,3	84,0	86,2	94,8	104,5
	Lc - off	Oído - Izquierdo	77,8	70,9	65,2	68,1	64,9	62,4	71,8
		Oído - Derecho	77,8	72,9	67,1	69,2	65,8	63,3	76,7
	Lc - on	Oído - Izquierdo	46,6	47,7	51,9	65,7	66,7	62,8	71,2
		Oído - Derecho	48,9	49,3	51,2	67,3	66,6	64,1	75,5
Sujeto 3	Lo	Oído - Izquierdo	78,3	76,2	78,8	86,5	88,5	95,5	103,4
		Oído - Derecho	78,4	76,1	78,1	87,2	88,8	96,9	106,7
	Lc - off	Oído - Izquierdo	81,1	75,0	67,9	68,3	64,1	61,8	72,7
		Oído - Derecho	80,8	75,9	68,4	70,5	64,6	63,6	76,1
	Lc - on	Oído - Izquierdo	49,8	50,2	52,7	65,4	66,2	62,5	73,1
		Oído - Derecho	53,1	52,9	53,3	69,5	66,9	64,8	76,6
Sujeto 4	Lo	Oído - Izquierdo	78,6	76,1	78,1	86,3	88,4	91,8	102,7
		Oído - Derecho	78,7	76,2	78,5	88,0	88,7	95,7	104,1
	Lc - off	Oído - Izquierdo	81,0	74,5	68,9	70,6	66,9	64,8	75,1
		Oído - Derecho	81,2	74,9	68,1	70,9	65,1	63,8	73,1
	Lc - on	Oído - Izquierdo	52,5	53,8	56,6	69,7	68,7	64,9	75,3
		Oído - Derecho	51,3	50,6	53,3	70,5	66,1	63,6	72,3
Sujeto 5	Lo	Oído - Izquierdo	78,9	76,2	78,6	86,8	88,7	95,7	103,9
		Oído - Derecho	79,1	77,0	79,2	87,7	87,7	92,6	105,0
	Lc - off	Oído - Izquierdo	79,9	78,1	74,9	75,6	72,2	69,7	87,9
		Oído - Derecho	80,1	79,0	76,8	77,0	72,5	66,1	85,8
	Lc - on	Oído - Izquierdo	62,7	61,7	63,1	75,5	74,1	69,7	87,9
		Oído - Derecho	64,0	63,1	63,9	77,5	74,5	67,1	85,4

Continúa en la próxima página

Sujeto 6	Lo	Oído - Izquierdo	79,3	76,9	78,8	87,4	88,9	92,9	102,0
		Oído - Derecho	79,5	77,4	79,2	88,0	88,6	92,9	105,0
	Lc - off	Oído - Izquierdo	81,5	77,5	70,9	71,7	67,6	66,4	75,3
		Oído - Derecho	81,4	77,6	70,9	72,2	67,4	64,7	72,7
	Lc - on	Oído - Izquierdo	56,4	55,4	56,7	69,2	69,9	66,1	73,9
		Oído - Derecho	55,1	54,8	54,4	69,2	69,0	64,7	72,6
Sujeto 7	Lo	Oído - Izquierdo	76,0	74,0	76,7	84,6	86,2	91,8	100,5
		Oído - Derecho	76,3	74,7	76,5	83,6	86,3	93,8	101,7
	Lc - off	Oído - Izquierdo	78,5	75,9	69,4	69,5	65,0	63,1	65,3
		Oído - Derecho	78,7	77,5	70,6	69,1	64,7	64,6	66,4
	Lc - on	Oído - Izquierdo	52,4	52,2	53,8	66,6	68,0	62,8	65,6
		Oído - Derecho	55,6	54,5	53,9	65,8	67,9	66,2	66,8
Sujeto 8	Lo	Oído - Izquierdo	79,2	76,6	78,3	86,2	89,2	94,5	103,6
		Oído - Derecho	79,3	76,9	79,2	88,0	88,9	93,9	104,2
	Lc - off	Oído - Izquierdo	82,1	74,6	68,2	71,7	68,4	64,5	70,4
		Oído - Derecho	81,6	76,4	70,3	74,1	69,0	68,5	73,5
	Lc - on	Oído - Izquierdo	48,8	49,0	53,1	68,4	71,8	65,2	70,3
		Oído - Derecho	53,3	52,9	56,0	71,5	72,2	68,6	73,3
Sujeto 9	Lo	Oído - Izquierdo	79,7	77,3	78,8	87,7	89,0	97,8	103,5
		Oído - Derecho	79,9	77,6	79,3	88,2	89,5	95,0	104,8
	Lc - off	Oído - Izquierdo	82,0	75,6	69,9	72,3	69,7	68,9	79,5
		Oído - Derecho	82,1	78,3	71,6	72,8	66,5	64,9	75,9
	Lc - on	Oído - Izquierdo	50,0	51,3	53,5	68,5	71,4	67,4	77,6
		Oído - Derecho	53,3	52,7	53,1	70,5	66,6	65,1	75,0
Sujeto 10	Lo	Oído - Izquierdo	78,9	76,2	78,6	86,8	88,7	95,7	103,9
		Oído - Derecho	79,1	77,0	79,2	87,7	87,7	92,6	105,0
	Lc - off	Oído - Izquierdo	79,9	78,1	74,9	75,6	72,2	69,7	87,9
		Oído - Derecho	80,1	79,0	76,8	77,0	72,5	66,1	85,8
	Lc - on	Oído - Izquierdo	62,7	61,7	63,1	75,5	74,1	69,7	87,9
		Oído - Derecho	64,0	63,1	63,9	77,5	74,5	67,1	85,4