

RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO
2. **TÍTULO:** MEDICIÓN DE LA ATENUACIÓN ACÚSTICA DE 3 PROTECTORES AUDITIVOS TIPO OREJERA CON TECNOLOGÍA DE CONTROL ACTIVO DE RUIDO EN HELICÓPTEROS.
3. **AUTOR (ES):** Carlos Eduardo Alba Arcila y Ricardo Trujillo Ruiz.
4. **LUGAR:** Bogotá D.C
5. **FECHA:** Enero de 2014.
6. **PALABRAS CLAVE:** Acústica, ATF (Acoustic Test Fixture), Control Activo de Ruido, Decibel, Helicóptero, Pérdida por Inserción, Protector Auditivo, Ruido, Salud Ocupacional.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** En este trabajo se expone un análisis detallado para determinar el desempeño de la atenuación acústica de tres tipos de dispositivos auditivos con cancelación activa de ruido, aplicados a la protección de los pilotos de aeronaves de hélice fija o Helicópteros. Estos dispositivos auditivos incorporan un sistema electrónico para realizar la reducción del ruido, el cual se basa en el principio acústico de superposición. El documento abarca tres partes importantes: las mediciones o pruebas acústicas para medir la efectividad de los dispositivos, las mediciones de niveles de exposición de ruido dentro de una cabina de helicóptero y el análisis comparativo entre los datos obtenidos evaluando la efectividad de los protectores respecto a la atenuación del ruido generado por la aeronave, Permitiendo así la creación de una guía para la medición y aplicación de éstos protectores dentro del campo de la aviación en Colombia.
8. **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Línea de Investigación de la USB: Tecnologías actuales y Sociedad. Sub línea de Facultad de Ingeniería: acústica y psico-acústica. Campo Temático del Programa: Mediciones acústicas.
9. **METODOLOGÍA:** De carácter empírico-analítico, cuya metodología se centra en Acústica y Salud Ocupacional, debido a que el tema que involucra la investigación realizada están relacionadas directamente las áreas de acústica y audio en la ingeniería de sonido, así como la protección del sistema auditivo frente a la exposición prolongada de ruido regulada por la Ley Colombiana.
10. **CONCLUSIONES:** Los resultados objetivos demostraron el alto nivel de contaminación auditiva generada al interior de la cabina por el rotor principal, ya que subjetivamente, se percibía bastante ruido dentro de la misma. La medición del helicóptero Hughes 500 registró que el valor SPL promedio del helicóptero se encuentra en 98,26 dB con frecuencia central de 40 Hz la cual registró un nivel de 110,775 dB, y según la Resolución 8321 del Ministerio de Salud permite trabajar bajo éste nivel de presión sonora por un intervalo de tiempo de 2 horas diarias. Conclusiones de mediciones acústicas: Se demostró la efectividad de los protectores analizados tanto en las mediciones acústicas dentro del estudio como en las mediciones in situ dentro de la cabina del helicóptero en vuelo, Puesto que el análisis de la investigación se centra en el comportamiento en frecuencias bajas y sus niveles de atenuación el protector Peltor Tactical Sport con su diseño de cápsula robusto, cómodo y de gran tamaño obtuvo los mayores niveles de atenuación total a través de todo el espectro, en el que tanto en frecuencias bajas dentro del rango de 20 a 63 Hz obtuvieron una reducción de 16,3 dB en promedio, principalmente en la frecuencia central del motor que está a 40 Hz, se evidenció una reducción de 14,03 dB, y en frecuencias medias altas comprendidas entre 1 KHz y 20 KHz con un valor promedio de 42,347 dB, lo cual es una atenuación bastante significativa dentro de la cabina.

**MEDICIÓN DE LA ATENUACIÓN ACÚSTICA DE 3 PROTECTORES AUDITIVOS
TIPO OREJERA CON TECNOLOGÍA DE CONTROL ACTIVO DE RUIDO EN
HELICÓPTEROS.**

**CARLOS EDUARDO ALBA ARCILA
RICARDO TRUJILLO RUIZ**

**BOGOTÁ
UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ
2014**

**MEDICIÓN DE LA ATENUACIÓN ACÚSTICA DE 3 PROTECTORES AUDITIVOS
TIPO OREJERA CON TECNOLOGÍA DE CONTROL ACTIVO DE RUIDO EN
HELICÓPTEROS.**

CARLOS EDUARDO ALBA ARCILA
RICARDO TRUJILLO RUIZ

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero De Sonido

Asesor:
LUIS FERNANDO HERMIDA C.
Ing. De Sonido

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ
2014

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ
2014**

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado

Jurado 1.

Jurado 2.

Bogotá D.C., 21 de Enero de 2014

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar damos gracias a Dios y agradecemos especialmente a nuestros padres y familiares que fueron un pilar fundamental de todo éste proceso de formación de nuestra profesión y futuro. Agradecimientos a Sergio Ayala Godoy, Federico Barco, David Felipe Niño, a la empresa de Aviación SADI por toda la colaboración e interés brindado en el desarrollo de esta investigación. De igual forma a los ingenieros Luis Fernando Hermida, Marcelo Herrera y Alexander Ortega, por toda la ayuda, asesorías y experiencia entregada en el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

GLOSARIO	1
RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 ANTECEDENTES	4
1.2 DESCRIPCION Y FORMULACION DEL PROBLEMA	7
1.3 JUSTIFICACIÓN	10
1.4 OBJETIVOS DE LA EXPERIMENTACION	12
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	12
1.5.1 ALCANCES	12
1.5.2 LIMITACIONES	13
2 METODOLOGÍA	14
2.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD / LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD / NUCLEOS PROBLÉMICOS	14
2.1.1 ÁREA: FISIOLÓGÍA AUDITIVA Y CARDIOVASCULAR	14
2.1.2 ÁREA: RUIDO OCUPACIONAL	15
2.1.3 ÁREA: DE LA JURISPRUDENCIA	15
2.1.4 ÁREA: TECNOLÓGICA	15
2.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	15
2.3 HIPÓTESIS	16
2.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES	16
2.4.1 VARIABLES INDEPENDIENTES	16
2.4.2 VARIABLES DEPENDIENTES	16
2.4.3 VARIABLE DE CONTROL	17
3 MARCO TEÓRICO	17
3.1 SONIDO	17
3.2 SALUD OCUPACIONAL	17
3.3 CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	17

3.4	RUIDO	17
3.5	RUIDO PROFESIONAL	17
3.6	RUIDO COMUNITARIO.....	18
3.7	UNIDAD DEL SONIDO (dB).....	18
3.8	POTENCIA ACÚSTICA.....	18
3.9	LA INTENSIDAD ACÚSTICA.....	18
3.10	RELACIÓN ENTRE PRESIÓN, POTENCIA E INTENSIDAD	19
3.11	RIESGOS Y ENFERMEDADES.....	19
3.11.1	ACÚSTICAS	19
3.11.2	CARDIOVASCULARES	20
3.11.3	PSICOLÓGICOS	20
3.12	RUIDO EN LA AVIACIÓN MODERNA	21
3.13	HELICÓPTERO	22
3.13.1	FUENTES DE RUIDO DEL HELICÓPTERO	22
3.13.2	RUIDO ESPESOR	22
3.13.3	CARGANDO RUIDO.....	22
3.13.4	RUIDO DE BANDA ANCHA.....	22
3.13.5	RUIDO IMPULSIVO DE ALTA VELOCIDAD	22
3.13.6	RUIDO DEL ROTOR DE COLA.....	23
3.13.7	LOS MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE RUIDO	23
3.14	ACOUSTIC TEST FIXTURE (ATF)	23
3.15	PROTECTOR AUDITIVO CONVENCIONAL.....	23
3.15.1	OREJERAS	23
3.15.2	OTROS TIPOS	23
3.16	CONTROL ACTIVO DE RUIDO.....	24
3.16.1	LA INTERFERENCIA DESTRUCTIVA	24
3.16.2	CONTROL ACTIVO DE RUIDO EN DISPOSITIVOS AUDITIVOS	24
3.16.3	FILTROS ADAPTATIVOS	25
3.16.4	FEED FORWARD.....	25
3.16.5	FEEDBACK	26
3.17	METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN.....	27

3.17.1	MÉTODO REAT (REAL EAR ATTENUATION AT THRESHOLD).....	27
3.17.2	MÉTODO MIRE (MICROPHONE IN REAL EAR).....	27
3.17.3	MÉTODOS ATFS (ACOUSTICAL TEST FIXTURES).....	27
3.18	MARCO NORMATIVO LEGAL	28
3.18.1	PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE PROTECTORES ACÚSTICOS TIPO OREJERA SEGÚN LA NORMA ISO (4869-3:2007)	28
4	DESARROLLO INGENIERIL	32
4.1	CONSTRUCCIÓN ATF (ACOUSTIC TEST FIXTURE).....	32
4.2	LUGAR DE ENSAYO:	34
4.2.1	TIEMPO DE REVERBERACIÓN	34
4.2.2	MEDICIÓN DE NIVEL SPL RESPECTO A PUNTO DE REFERENCIA	43
4.2.3	DISPOSITIVOS A EVALUAR.....	46
4.3	RESULTADOS DE ENSAYOS DE ATENUACIÓN DE RUIDO.....	47
4.3.1	PARÁMETROS A ANALIZAR	47
4.3.2	PROTECTOR AUDITIVO HOWARD LEIGHT IMPACT SPORT	48
4.3.3	PELTOR SPORTTAC HEARING PROTECTOR	54
4.3.4	PROTECTOR PELTOR TACTICAL	61
4.4	MEDICIÓN DEL HELICOPTERO Modelo Hughes 500.....	68
4.4.1	MEDICIÓN DENTRO DE LA CABINA.....	70
4.4.2	MEDICIÓN DE LOS PROTECTORES DENTRO DE LA CABINA	72
4.5	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	94
4.5.1	ANÁLISIS COMPARATIVO PRUEBAS DE ESTUDIO.....	94
4.5.2	ANÁLISIS COMPARATIVO PRUEBAS EN EL HELICOPTERO	104
5.	CONCLUSIONES	112
6.	BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXO 1.....		117
ANEXO 2.....		119
ANEXO 3.....		122
ANEXO 4.....		124
ANEXO 5.....		125
ANEXO 6.....		126
ANEXO 7.....		127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de mediciones del ruido en el Bell 212 de Helicóptero Service AIS durante un vuelo normal.

Tabla 2. Comparación entre los 3 métodos de medición de dispositivos con C.A.R

Tabla 3. Tiempos de reverberación por tercio de octava en lugar de ensayo.

Tabla 4. Niveles SPL medidos a 15 cm del punto de referencia

Tabla 5. Dispositivos a evaluar

Tabla 6. Secuencia Utilizada según norma ANSI/ASA S12.42: “ACAC” (Abierto Cerrado, Abierto Cerrado)

Tabla 7. Valores del promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Tabla 8. Valores del promedio de pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Tabla 9. Valores del promedio de pérdida por inserción total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Tabla 10. Valores del promedio de pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing.

Tabla 11. Valores del promedio de pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing.

Tabla 12. Valores del promedio de pérdida por inserción total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing.

Tabla 13. Valores del promedio de pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Tabla 14. Valores del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Tabla 15. Valores del promedio de pérdida por inserción total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Tabla 16. Secuencia Utilizada según norma ANSI/ASA S12.42: “ACAC” (Abierto Cerrado, Abierto Cerrado)

Tabla 17. Valores del promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Tabla 18. Valores del promedio de pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Tabla 19. Valores del promedio de pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Tabla 20. Valores del promedio de pérdida por inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing.

Tabla 21. Valores del promedio de pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing.

Tabla 22. Valores del promedio de pérdida por inserción total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing

Tabla 23. Valores del promedio de pérdida por inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Tabla 24. Valores del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Tabla 25. Valores del promedio de pérdida por inserción total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Tabla 26 Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Tabla 27. Valores del Promedio de la Pérdida de inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava

Tabla 28. Valores del Promedio de la Pérdida de inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor

Tabla 29. Comparación de datos del fabricante

Tabla 30. Resultados promediados de pil, ail y til de los 3 protectores auditivos evaluados en las pruebas de estudio

Tabla 31. Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava

Tabla 32. Valores del Promedio de la Pérdida por inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Tabla 33. Valores del Promedio de la Pérdida por inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Tabla 34. Resultados promediados de pil, ail y til de los 3 protectores auditivos evaluados dentro de la cabina del HUGHES 500

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Umbrales de tolerancia máxima.

Figura 2. Curvas de desplazamiento del umbral auditivo según la edad y el género.

Figura.3. Atenuación para diferentes tipos y combinaciones de protectores auditivos.

Figura 4. Diagrama de bloques de aplicación de filtro adaptativos en DAA. Imagen extraída del sitio web de “Headwise” [Headwise, 2008].

Figura 5. Configuración Feedforward para control activo de ruido acústico.

Figura 6. Estructura Feedforward de control adaptable (F de T.: Función de transferencia)

Figura 7. Configuración Feedback para control activo de ruido.

Figura 8. Estructura Feedback de control adaptable.(F. de T.: Función de Transferencia) por tercios de octava.

Figura 9. Diagrama de normativa legal y desarrollo ingenieril

Figura 10. Dimensiones del ATF Según norma ISO 4869-3:2007

Figura 11. ATF vista lateral

Figura 12. ATF vista frontal

Figura 13. Posiciones de medición respecto a punto de referencia

Figura 14. Promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Figura 15. Gráfica Logarítmica del promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Figura 16. Promedio de pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Figura 17. Gráfica Logarítmica del promedio de pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport

Figura 18. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE)

Figura 19. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Figura 20. Medición del Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport usando el método del ATF.

Figura 21. Promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

Figura 22. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Peltor SportTac Hearing Protector por tercios de octava.

Figura 23. Promedio de la pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

Figura 24. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Peltor SportTac Hearing Protector por tercios de octava.

Figura 25. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

Figura 26. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

Figura 27. Medición del Protector Peltor SportTac Hearing usando el método del ATF.

Figura 28. Promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 29. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 30. Promedio de la pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 31. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 32. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 33. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 34. Medición del Protector Peltor Tactical Pro Headset usando el método del ATF en el estudio C de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.

Figura 35. Helicóptero HK-2331, modelo Hughes 500, empresa SADI, Base Aérea de Guaymaral, Bogotá.

Figura 36. Puntos de medición dentro de la cabina del Hugues 500. 1-) En la mitad del piloto y copiloto; 2-) En la zona de pasajeros bajo el rotor principal.

Figura 37. Promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Light Impact Sport por tercios de octava.

Figura 38. Gráfica Logarítmica del promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Light Impact Sport por tercios de octava.

Figura 39. Promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 40. Gráfica Logarítmica del promedio de pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Figura 41. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

Figura 42. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Figura 43. Medición del Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport usando el método del ATF dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 en vuelo

Figura 44. Promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

Figura 45. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida de inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Peltor SportTac Hearing Protector por tercios de octava.

Figura 46. Promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

Figura 47. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Peltor SportTac Hearing Protector por tercios de octava.

Figura 48. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

Figura 49. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

Figura 50. Medición del Protector Peltor SportTac Hearing usando el método del ATF dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 en vuelo.

Figura 51. Promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 52. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 53. Promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 54. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 55. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 56. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida de Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

Figura 57. Medición del Protector Peltor Tactical Pro Headset usando el método del ATF dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 en vuelo.

Figura 58. Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Figura 59. Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Figura 60. Valores del Promedio de la Pérdida de inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Figura. 61. Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida de inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Figura 62. Valores del Promedio de la Pérdida de inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Figura 63. Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida de inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Figura 64 Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Figura 65. Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Figura 66. Valores del Promedio de la Pérdida por inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava

Figura 67. Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida por inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Figura 68. Valores del Promedio de la Pérdida por inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava

Figura 69 Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida por inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Figura 70. Resultados medición de niveles spl con los protectores mediante pruebas acústicas en estudio de grabación 5.1 universidad de san buenaventura.

Figura 71. Resultados medición de niveles spl promediados dentro de la cabina del Hughes 500

Figura 72. Resultados medición de niveles spl promediados dentro de la cabina del Hughes 500

Figura 73. Resultados medición de niveles spl con los protectores mediante pruebas acústicas dentro de la cabina de hugues 500 en vuel

GLOSARIO

ATENUACIÓN POR INSERCIÓN: Es la diferencia algebraica, en decibeles (dB), entre el nivel de presión acústica en banda de un tercio de octava, medido por el micrófono de la instalación para ensayo acústico, en un campo de sonido especificado, a condiciones también especificadas con el protector auditivo ausente y el nivel de presión acústica, con el protector auditivo colocado en otras condiciones idénticas.

CONTROL ACTIVO DE RUIDO sistema que permite anular el ruido no deseado.

INSTALACIÓN PARA ENSAYO ACÚSTICO: Dispositivo que simula en forma aproximada ciertas dimensiones de la cabeza humana, promedio de un adulto y que, para los propósitos de esta norma, se utiliza para medir la atenuación por inserción de los protectores auditivos del tipo orejera. Para este fin, incluye un arreglo de micrófono para medir los niveles de presión acústica.

OREJERA: Protector auditivo formado por una copa auricular que se presiona contra cada pabellón de la oreja o una copa auricular circundante que se presiona contra la cabeza, alrededor del pabellón de la oreja. Las copas auriculares se pueden presionar contra la cabeza con una cinta especial o mediante un dispositivo unido a un casco de seguridad u otro equipo.

PISO DEL RUIDO: Es el nivel de salida del micrófono de medición con la señal de prueba desconectada y el auricular del ensayo de aislamiento acústico en su posición.

PROTECTOR AUDITIVO: Dispositivo usado por una persona para evitar efectos auditivos indeseables procedentes de estímulo acústico.

PUNTO DE REFERENCIA: Es el punto medio de una línea que une los centros de las dos caras extremas de la instalación para ensayo acústico.

RUIDO ROSA: Es el ruido cuya densidad espectral de potencia es inversamente proporcional a la frecuencia, es decir, con energía igual en cada banda de un tercio de octava [véase la norma IEC 50 (801)]

RESUMEN

En este trabajo se expone un análisis detallado para determinar el desempeño de la atenuación acústica de tres tipos de dispositivos auditivos con cancelación activa de ruido, aplicados a la protección de los pilotos de aeronaves de hélice fija. Estos dispositivos auditivos incorporan un sistema electrónico para realizar la reducción del ruido, el cual se basa en el principio acústico de superposición.

El documento abarca tres partes importantes: las mediciones o pruebas acústicas para medir la efectividad de los dispositivos, las mediciones de niveles de exposición de ruido dentro de una cabina de helicóptero y el análisis comparativo entre los datos obtenidos para la creación de una guía para la medición y aplicación de éstos protectores dentro del campo de la aviación. Se construyó un dispositivo de ensayo acústico ATF basado en la norma ISO 4869-3 para realizar las mediciones de atenuación, por ende el proyecto otorga valores objetivos los cuales son independientes de variables como el confort o percepción subjetiva. Éste trabajo se realizó utilizando como referencia tres normas disponibles: Norma ISO 1999, la norma (ANSI/ASA S12.42-2010) y la norma (ISO 4869-3), que entregan todas las especificaciones técnicas, teóricas y prácticas para evaluar el desempeño y otras características importantes de los protectores auditivos y metodologías de medición.

PALABRAS CLAVE: ACÚSTICA, ATF (ACOUSTIC TEST FIXTURE), CONTROL ACTIVO DE RUIDO, DECIBEL, HELICÓPTERO, PÉRDIDA POR INSERCIÓN, PROTECTOR AUDITIVO, RUIDO, SALUD OCUPACIONAL.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas se ha logrado enfocar la salud del ser humano hacia la prevención y el cuidado frente a diferentes formas de daño que éste puede recibir en su lugar de trabajo, sea físico o psicológico, puesto que afecta su rendimiento laboral e integridad personal. Se hace un análisis especial al campo de la aviación, aeronaves y lugares de trabajo, que a pesar de estar regulados no cumplen con las normativas o desconocen los protocolos de seguridad y protección implementados en otras partes del mundo. Ya que existe un sin número de aeronaves y diseños, se encamina ésta investigación hacia el análisis de los niveles generados dentro de la cabina de un helicóptero y a un sistema de protección que se implementa sobre el piloto o tripulación, y no sobre la estructura fija del dispositivo de vuelo. Es bien sabido que la comunicación es un factor fundamental dentro de la aviación, tanto con los pasajeros y/o tripulantes así como con el personal en tierra quien coordina todo el desarrollo del vuelo, sin embargo el enfoque de la investigación es totalmente hacia la protección, es decir, la reducción de los niveles sonoros percibidos por la persona dentro de la cabina. La audición en el ser humano permite integrar los sonidos ambientales y del lenguaje, si la habilidad de escuchar no se desarrolla adecuadamente debido a deficiencias auditivas, las habilidades del lenguaje como la comprensión y la expresión tampoco se establecerán adecuadamente, provocando un desarrollo integral limitado y la necesidad de buscar formas alternas de comunicación. La pérdida de audición por exposición al ruido en el trabajo sigue siendo una de las más importantes enfermedades laborales. Hay que tener en cuenta que el ser humano no percibe el daño hasta que es irreversible. Por lo tanto, las medidas preventivas juegan un importante papel en la incidencia de alteraciones auditivas.

Una forma eficaz de evitar la exposición a determinado ruido con riesgo de adquirir sordera profesional en los lugares de trabajo, es controlar los niveles de ruido en el origen o fuente. Anteriormente se realizaba un acondicionamiento pasivo dentro de la estructura de la aeronave, sin embargo los materiales absorbentes y aislantes, las barreras anti ruido, silenciadores, los filtros acústicos, entre otros; requieren dimensiones y/o pesos a menudo inaceptables por debajo de 500 Hz. El control pasivo del ruido también funciona en bajas frecuencias, el problema radica en la envergadura de la solución que aporta. El control activo de ruido surge como una técnica complementaria al control pasivo del ruido en el margen de las frecuencias bajas. Generalmente éste tipo de aeronaves de hélice fija, cuentan con una frecuencia central del motor bastante baja, entre los 40 y 80 Hz, los

cuales son difíciles de atenuar, sin embargo, por medio del estudio y aplicación de protectores auditivos con control activo de ruido, se ha logrado una simbiosis entre el comportamiento pasivo y activo para la protección del sistema de audición.

La forma de abarcar ésta problemática consiste en generar una base de datos, que muestre el nivel SPL generado por tercios de octava, del motor de la aeronave dentro de la cabina, que no sólo brindará niveles reales de propagación del ruido sino que brinda un campo de acción para determinar la efectividad de la solución planteada y permite prevenir a los usuarios y operarios del sistema al tener conocimiento del ruido al que están expuestos. Así que se realizará el análisis de 3 protectores auditivos (Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headset) los cuales son utilizados para la protección tanto en aeronaves como en la práctica cotidiana del tiro al blanco o cualquier deporte con el uso de armas de fuego, por medio de la implementación del método ATF (Acoustic Test Fixture), que consiste en un método de medición objetivo para definir la atenuación acústica aportada por cada uno de ellos. Se pretende demostrar que un sistema de control activo de ruido resulta ser una solución eficaz contra estos niveles a frecuencias tan bajas difíciles de tratar dentro de la cabina de un helicóptero.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Con la aparición de las placas DSP en los años 80, toda una revolución en control activo, se empezó a concebir el CAR como una técnica con capacidad para solucionar problemas reales. Surgieron las primeras aplicaciones prácticas para reducir el ruido de escape de motores y en el interior de coches (Oswald, 1984; Trinder et al., 1986; Elliott et al., 1988). Muy importante fue la contribución de Carne (1988) en el desarrollo de protectores auditivos activos.

El periodo más fructífero para el CAR, tanto en aspectos prácticos como teóricos, se concentra en los últimos diez años. Nelson y Elliott (1992), del Instituto de Sonido y Vibraciones de la Universidad de Southampton (ISVR), publican un volumen sobre control activo del ruido, en el que asientan los fundamentos acústicos y de control involucrados en los sistemas CAR.

En la Universidad de Adelaida (Australia) se forma un equipo de control activo del ruido y vibraciones que destaca hasta el momento, no sólo por sus investigaciones fundamentales (Hansen y Snyder, 1997; Snyder y Vokalek, 1994; Snyder, 2000), sino también por las numerosas aplicaciones prácticas que realiza (Smith et al., 1996; Tanaka et al., 1996; Cazzolato y Hansen, 1998). Este equipo investigador mantiene una relación muy estrecha con su homólogo del Instituto Politécnico de

la Universidad de Virginia. Este centro encabeza las investigaciones en la técnica CAAE, propuesta como aplicación para reducir el ruido estructural (Clark et al., 1991; Fuller et al., 1996; Guigou y Fuller, 1999; Johnson y Fuller, 2000).

Se muestran a continuación diferentes ponencias realizadas a nivel internacional en este campo:

- **“Esquema feedback - feedforward aplicado al control activo de ruido acústico en cascos de motociclistas”**, Rosa Castañé y Ricardo Sánchez Peña, julio el 2007, España.

En este trabajo se presenta un esquema feedback–feedforward aplicado al control activo de ruido acústico en cascos de motociclistas. La estructura es la del control de 2 grados de libertad tomando información de una señal proporcional al ruido externo al casco y del ruido efectivo en el oído del motociclista. Se comparan diseños realizados mediante la parametrización de Youla, el control óptimo en H^∞ y la síntesis- μ (diseño por valor singular estructurado). Se realiza un análisis en términos del desempeño, robustez y el orden de los controles resultantes, el prototipo experimental que se diseñó en este escrito está en etapa de desarrollo.

- **“Dispositivos Auditivos Activos DAA”**, DANIEL ALEXIS CATALÁN URRÁ, Valdivia Chile, 2011.

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. Se presentaron 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 presentó el principio de funcionamiento de tales dispositivos, realizando un análisis desde el punto de vista acústico y electrónico.

- **“Ruido de la aviación militar y sus efectos sobre el corazón de las tripulaciones y personal en tierra.”**, Fredesvinda Castillo, Universidad Politécnica de Madrid, 2010.

En esta tesis doctoral se analizan los efectos no auditivos del ruido producidos por los aviones militares sobre el personal de tripulaciones y de mantenimiento, y su

papel como posibles generadores de patologías cardíacas, se hicieron pruebas en Venezuela y se llegó a la conclusión de que las infraestructuras carecen de confort acústico y las frecuencias bajas sobrepasan los 100 decibeles, esto trae consigo problemas diversos para los trabajadores, como altos estados de fatiga, problemas cardíacos e irritabilidad entre otros.

- **Headphone with Active Noise Control using Analog Adaptive Filters**, Alex Jose Veloso, Vitor Heloiz Nascimento- august 2005 Rio de Janeiro Brazil

Este artículo habla sobre los diversos métodos que hay para reducir el ruido, los métodos pasivos son muy voluminosos y no atenúan muy bien las frecuencias por debajo de 500 Hz, por eso recomiendan el control activo de ruido, que funciona por medio de filtros adaptativos, habla sobre el problema que tiene este tipo de control de ruido, y es la retroalimentación y el retardo, y para eso proponen un sistema analógico que tiene un retardo menor y mejora la correlación entre la señal de referencia y el ruido.

Se propone el uso de un auricular con control activo de ruido utilizando filtros adaptativos analógicos con una estructura FIR.

- **Diploma Thesis Active Noise Control**, Authors: Aleksandar Milosevic and Urs Schaufelberger, Rapperswil, December 14, 2005

La tesis comienza dando una visión general de los principios de la acústica y la propagación de sonido así como el procesamiento de señal digital. Muestra los fundamentos del control de ruido pasivo y activo, y algunas aplicaciones prácticas de control activo de ruido que ya se han tratado. Habla sobre algunas variaciones del Least Mean Square (LMS) y se evalúan el algoritmo para su uso en una solución de control activo de ruido. Por último, plantea una implementación práctica de un sistema de control activo de ruido basado en un software el cual es probado y evaluado.

- **Active Control of Sound and Vibration**, Dieter Guicking, Universitätsverlag Göttingen 2007

Este artículo nos habla sobre toda la teoría que hay detrás del control activo de ruido y las vibraciones, nos dice que el control activo se basa en la superposición de ondas y nos cuenta sobre toda la física que hay detrás de esto, de igual forma lo hace con las vibraciones.

1.2 DESCRIPCION Y FORMULACION DEL PROBLEMA

La contaminación acústica es especialmente crítica en ambientes laborales de aviación, donde la generación del ruido responde a las características de las fuentes, diferenciando en este caso las fuentes móviles como las aeronaves y las no móviles como equipos de mantenimiento. El manejo de aeronaves civiles y militares crea una gran variedad de situaciones, donde el ruido está presente en cantidades significantes. Con el incremento y desarrollo de los dispositivos que producen gran cantidad de ruido, es de esperarse la presencia de problemas serios. Sin embargo siempre se han relacionado las pérdidas auditivas con altas exposiciones de ruido en frecuencias medias-altas, sin tener en cuenta los efectos que causa la constante exposición de frecuencias bajas. La pérdida auditiva provocada por ruido suele ser, al principio, temporal, experimentándose una reducción de la capacidad auditiva, conocida como desviación temporal del umbral (TTS), pero con el tiempo, y dependiendo del nivel de ruido al que se vea expuesto el trabajador, la TTS da lugar a efectos permanentes y comienzan a acumularse nuevas carencias auditivas sobre las pérdidas ya permanentes.

Es posible clasificar los efectos de altas exposiciones a frecuencias bajas para poder abarcar la temática y comprender los riesgos para un piloto o tripulación de helicópteros: efectos en la función auditiva, efectos en el sistema nervioso central y periférico, y efectos en el sistema cardiovascular, aparatos respiratorio y digestivo.

Para efectos en la función auditiva, una serie de autores realizaron experimentos de laboratorio o estudios de campo enfocados en el desplazamiento del umbral de audición, sea temporal o permanente. En su investigación *“La tolerancia humana a la baja frecuencia de sonido”* Alford et al. (1966) y Jerger et al. (1966) encontraron TTS (10 dB - 22 dB) en 11 de los 19 sujetos en los 3 minutos de la exposición repetida a 119 dB - 144 dB / Hz 2 a 12 Hz. Se observó el TTS en el rango de frecuencia auditiva de 3 kHz a 8 kHz. **(1)** En 1973, con su investigación *“Respuesta auditiva humana a los infrasonidos intensos”*, Nixon informó sobre TTS (20dB-25dB) en uno de los tres participantes causado por la exposición a 135 dB / 18Hz (6 repeticiones de 5 minutos de exposición) y 140 dB / 14 Hz (la exposición constante, la duración de 5 minutos - 30 min). **(2)** En 1973 Johnson obtuvo TTS de 8 dB en el rango de frecuencia auditiva de 2 kHz a 6 kHz debido a la exposición a 140 dB / 4 Hz, 7 Hz, 12 Hz en uno de ocho sujetos (duración 5 min). **(3)**

En 2008, una revisión efectuada en 1056 pilotos en la USAF (School of Aerospace Medicine), revela que el 59,47% de la muestra estudiada presentaba pérdidas de por lo menos 25 dB en las frecuencias de 3000, 4000 o 6000 Hz en relación con los umbrales auditivos determinados en la frecuencia de 500 Hz. En el Centro de

Medicina Aeroespacial (CMAE) de la FACH, los últimos estudios auditivos realizados, evaluando retrospectivamente las fichas de 612 sujetos entre los años 1995-2000, con audiometría convencional y audiometría de Alta Frecuencia en pilotos y tripulantes civiles y militares, demuestran que sólo un 32% de la muestra presenta audición normal. El resto, presenta daño auditivo de diversa severidad, considerando que las pérdidas auditivas leves corresponden al 43% y las moderadas o severas al 25%. **(4)**

Según mediciones realizadas por la Centro de Medicina Aeroespacial (CMA) a la fuerza aérea de Chile (FACH), las intensidades de ruido para naves de hélice fija durante el vuelo son de 95dB (A) y en las naves de hélice rotatoria el nivel de ruido es de 100,9 dB (A). Es importante considerar que altos niveles de exposición a ruido se han registrado en actividades fuera de las cabinas de las aeronaves, antes y después del vuelo, aun a distancias de 100 metros del punto de generación del ruido. El nivel de ruido en la cabina de un Sea King varía entre 96 y 110 dB. El Boeing 234LR Chinook está entre 123dB a 31.5 Hz y 95 dB a 500 Hz.

Para efectos en el sistema nervioso central y periférico en general, se puede decir que el ruido producido durante las operaciones de vuelo en helicóptero, puede ser el responsable de la génesis y evolución de la fatiga operacional, coadyuvando en forma importante a la fatiga auditiva. **Coermann (5)** menciona que la fatiga inducida por el ruido puede ser debida al resultado de una verdadera batalla entre el ruido y otros impulsos que llegan al encéfalo al mismo tiempo. La mayor concentración que el piloto tiene que ejercer para capturar los impulsos útiles y deseables, implica un gasto excesivo de energía, lo cual conduce a una rápida fatiga nerviosa, la cual a su vez puede contribuir a la génesis de la fatiga general.

Para efectos en el sistema cardiovascular, se han descrito efectos hemodinámicos producidos por el ruido. En su libro "**MANUAL DE PSIQUIATRÍA**", Rotondo **(6)** describe los siguientes: alteraciones del ritmo cardiaco, cambios de la presión arterial, y alteración de patrones en el ecg (patrón electrocardiográfico).

Tratándose del aparato respiratorio, se ha descrito que el ruido produce: modificaciones en la frecuencia y profundidad de la frecuencia respiratoria, y **apnea** (cese completo de la señal respiratoria (medida por termistor, cánula nasal o neumotacógrafo) de al menos 10 segundos de duración), seguida de **polipnea** (aumento de la frecuencia y profundidad respiratoria).

Las alteraciones que se han reportado sobre el aparato digestivo, producidas por el ruido son: variaciones de la secreción salival, aumento de motilidad y secreción gástrica, y alteraciones de la motilidad y secreción intestinales.

El ruido ocupacional legalmente fue establecido desde una concepción de pérdida auditiva, considera límites permisibles de exposición laboral que tienden a la protección del trabajador (Iso 1999). Se estipulan dos vertientes para analizar ésta problemática, la primera es el nivel de exposición admitido, dados los criterios médicos; y la segunda es la concentración en el aire de una sustancia nociva o intensidad de ruido y vibraciones, como causante de consecuencias adversas para la salud a largo plazo.

El tratamiento legal del problema de las emisiones de ruido generadas por las aeronaves es estudiado por la Carta Magna de la Aviación, representada por la organización Internacional de Aviación Civil (OACI). En Colombia, la misión de regular estas normativas está a cargo de la Aeronáutica Civil, la cual estipula que para efectos de la emisión de ruido de aeronaves se tendrá en cuenta lo consagrado en la Resolución 2130 de 2004 de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil o la que la adicione, modifique o sustituya.

Partiendo de esta perspectiva, en el caso de la aviación colombiana, este principio se asume para el desarrollo de misiones de entrenamiento, misiones militares y comunicación entre las diferentes entidades que participan del proceso, claro está que no es el único estudio que desarrolla, abarca las problemáticas desde la perspectiva en tierra y aire para cualquier función, sea periodística, investigativa, militar o turística. Actualmente el campo de los efectos que ocasionan aquellas emisiones de ruido en relación a la pérdida auditiva son científicamente comprobables y afectan el desempeño de pilotos, tripulación y personal en tierra, sin embargo no cuentan con la rigurosidad necesaria para su cumplimiento.

Tabla 1. Niveles de mediciones del ruido en el

Bell 212 de Helicóptero Service AIS durante un vuelo normal.

Posición	SPL (dB)
En el lado derecho de la cabina del piloto	93
En el lado izquierdo de la cabina del piloto	94
Entre los pilotos	91
Inmediatamente detrás y entre los pilotos	95
En la cabina, asiento frontal de la transmisión (transmisión en respaldo)	102
Durante el habla, el nivel del ruido de los auriculares (standard de USAF)	95-105

1.3 JUSTIFICACIÓN

El ruido en el interior del helicóptero procedente del motor es esencialmente de baja frecuencia con rangos que varían entre los 50 y 2,200 Hz, con SPL entre los 96 y 119 dB. Para reducirlo mediante control pasivo, habría que incrementar el aislamiento (y por consiguiente, el peso) y/o la absorción (lo que implicaría reducir el volumen del interior). Por ende se plantea la aplicación de control activo de ruido, ya que su diseño radica en la atenuación de frecuencias bajas por medio de filtros adaptativos.

Considerando lo anteriormente descrito, no es difícil suponer que los múltiples factores que actúan aislada o conjuntamente sobre el piloto de helicóptero, conducen a la aparición temprana de fatiga operacional con dimensiones muy especiales para éste. La fatiga que se presenta envuelve los diferentes campos de acción que en un principio se mencionaron: el ruido generado por aviones durante el campo laboral al que se exponen tripulantes y personal de mantenimiento, la respuesta cardíaca que puede manifestarse en condiciones eléctricas, anatómicas y hermo-dinámicas; y por último, el efecto psicoacústico que influye en variaciones cognitivas primordiales en el campo aéreo. Aunque puede decirse que el aspecto emocional corresponde al área psíquica, es importante enfatizar que las emociones que el piloto conlleva en el desempeño de sus misiones, son una carga muy importante que afecta considerablemente su campo mental, por lo que debiera considerarse al aspecto emocional separadamente.

Las pautas regulatorias en medicina aeronáutica se justifican en dos campos: el primero es que basan la patologías cardíacas en los agentes etiológicos tradicionales, sin considerar la exposición al ruido generado por éstas aeronaves, y el segundo, asocian valores tomados de manera estándar a la hora de distinguir entre un sujeto sano y uno que no esté capacitado para efectuar éste tipo de tareas, los cuales son diferentes al compararlos con los estudios clínicos recientes realizados por diferentes instituciones, en las que resalta la investigación del Dr. Llinás, jefe de neurocirugía en la Universidad de Nueva York, el cual asocia su trabajo a causantes y efectos de la Tinnitus (7); cree que estos ritmos interrumpidos pueden aparecer por una variedad de causas en donde una pequeña porción de la corteza auditiva es dañada por el ruido del helicóptero, generando así genes defectuosos, daño cerebral, pérdida de equilibrio, entre otras. No cabe duda que los ingenieros aeronáuticos deben mejorar el diseño de los helicópteros a fin de evitar, o al menos disminuir los estímulos tan peculiares de estos aparatos: vibración, ruido, efecto flicker, etc. y mejorar la posición del piloto para evitar problemas óseo-musculares, por medio del mejor diseño ergonómico de los helicópteros.

Las actividades de vuelo generan y propagan altos niveles de ruido, sobre 100 dB, ante lo cual el personal que trabaja en estas áreas de exposición a ruidos debe conocer el riesgo al que está expuesto y protegerse para no adquirir daño permanente de su capacidad auditiva. El ministerio de salud publicó la Resolución 8321 en la que estipula que a 95dB el nivel de exposición corresponde a un máximo de 4 horas. A pesar que el perfeccionamiento tecnológico de las aeronaves ha logrado disminuir el ambiente ruidoso de las cabinas, se continúa observando en sus tripulaciones una elevada incidencia de sordera selectiva de los sonidos de tonalidad aguda y de alta frecuencia. **Goede (8)** establece que es muy importante reducir las horas de vuelo en helicóptero. Las horas de vuelo deben ser limitadas a un máximo de 5 horas al día o 50 horas al mes.

El desarrollo de la siguiente investigación permite cuantificar el riesgo sobre la salud humana y más importante aún, determinar las consecuencias con lo que se fomenta la investigación en soluciones prácticas. Para prevenir la aparición temprana de fatiga operacional y las respuestas orgánicas al vuelo en helicópteros, deben considerarse ciertas medidas que bien aplicadas podrán evitar dicha fatiga o daño permanente a los pilotos. Éstas medidas son fundamentalmente higiénicas, tales como el uso de protectores auditivos, una nutrición adecuada, ejercicios para fortalecer los músculos abdominales, para-vertebrales, etc. estas medidas permitirán la prevención de algunos de los problemas antes mencionados.

Llevar a cabo el siguiente estudio, lo cual requiere de una estrecha colaboración entre los pilotos, jefes de unidades aéreas y los médicos de medicina aeroespacial, permitirá a la medicina de aviación continuar su noble labor destinada a preservar y mantener la seguridad aérea por medio de un estado de salud adecuado de los pilotos.

Por último, el campo de aplicación de éste proyecto, se soporta sobre el campo de la acústica, la física, la biología y psicología, como ejes de aplicación en la medicina, por ende los resultados obtenidos se aplican a cualquier situación dando así espacio relevante en el campo investigativo y de conocimiento.

1.4 OBJETIVOS DE LA EXPERIMENTACION

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el nivel de atenuación acústica de 3 protectores auditivos con sistema de control activo de ruido al interior de la cabina de un helicóptero.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar mediciones de la atenuación acústica de los protectores de tipo orejera mediante un montaje para pruebas acústicas (ATF).
- Analizar los resultados obtenidos con el fin de comparar datos de fabricante y efectividad de los protectores.
- Desarrollar mediciones acústicas dentro de la cabina del helicóptero para determinar el campo de acción en el análisis para los protectores auditivos.
- Evaluar la atenuación acústica de los 3 dispositivos dentro de la cabina del helicóptero en vuelo.
- Comparar los datos obtenidos determinando la efectividad de cada protector dentro de la cabina del helicóptero.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 ALCANCES

Los protectores auditivos se pueden emplear para distinguir las formas de sensación del ruido en frecuencias bajas. La exposición a éste ruido cerca o por encima del umbral vibro-táctil a través del altavoz podría dar lugar a diferentes efectos en comparación con pura exposición de los auriculares.

- Por medio de mediciones objetivas demostrar la eficacia de un protector auditivo con tecnología C.A.R para su implementación en cancelación de ruido dentro de la cabina de un helicóptero.
- Control efectivo de los niveles de presión sonora a bajas frecuencias, características de motores.
- Solución íntegra y económica, que permite no solo el estudio de nuevas técnicas de atenuación del ruido, sino que permite proteger a las diferentes entidades que trabajan en el campo de la aviación.
- Desarrollo de un protocolo de medición de protectores auditivos aplicado a la aviación Colombiana y/o a cualquier aeronave de hélice fija.
- Disminución en las falencias de la tripulación de aeronaves de hélice fija para lograr un óptimo desempeño laboral y profesional.

- El campo investigativo brinda la oportunidad de poder desarrollar un sistema de control activo comercial que pueda ser producido a gran escala y a bajos costos.

1.5.2 LIMITACIONES

A pesar de estos avances, existen todavía limitaciones técnicas en la implementación de los sistemas de control activo de ruido que impiden un desarrollo comercial universal de esta tecnología.

- Limitaciones en el desarrollo tecnológico de transductores electro-acústicos que puedan trabajar de una manera robusta en el escenario de cancelación, en condiciones medioambientales que en algunos casos pueden ser tremendamente hostiles.
- Influencia del propio escenario de cancelación sobre la bondad del sistema de control. El tipo de recinto acústico, el número de transductores acústicos utilizados y su disposición en el recinto, determinan el grado de atenuación acústica a conseguir. El sistema de control tiene limitado su funcionamiento a esta configuración exterior.
- Complejidad de los algoritmos de control utilizados, que determinan el hardware donde realizar su implementación, y la variabilidad de los valores de los parámetros de ajuste que condicionan la estabilidad y la atenuación total conseguida por el sistema de control, y que dependen también del propio escenario de cancelación

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:

- No poseer las instalaciones ni equipos de medición adecuados para realizar tal prueba.
- 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.
- 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 dispositivos auditivos activos.

2 METODOLOGÍA

2.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD / LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD / NÚCLEOS PROBLÉMICOS

El objetivo de medición, aplicación y estudio en general de dispositivos con sistemas de control activo de ruido se encuentra situado en la línea de investigación de *Tecnologías Actuales y Sociedad* de la Universidad de San Buenaventura, la línea de la facultad para este proyecto es *acústica y psicoacústica*, gracias a que la finalidad de este proyecto es entregar información basada en la experimentación para análisis en otros estudios relacionados con el comportamiento y percepción del sonido. El núcleo problemático en que se centra esta investigación es Acústica y Salud Ocupacional, debido a que el tema que involucra la investigación realizada están relacionadas directamente las áreas de acústica y audio en la ingeniería de sonido, así como la protección del sistema auditivo frente a la exposición prolongada de ruido.

Las líneas de trabajo a futuro se abren en un amplio campo dentro del área de la aeronáutica. Así mismo, se puede proyectar áreas de trabajo industrial, verificando las condiciones auditivas en sujetos expuestos a ruidos en términos industriales. Por lo tanto, las aéreas temáticas futuras que se proponen son las siguientes:

2.1.1 ÁREA: FISIOLOGÍA AUDITIVA Y CARDIOVASCULAR

En la relación de los efectos del ruido, se podrían estudiar las condiciones cardiovasculares con otras variables como las medidas antropométricas, que contribuyan a crear modelos matemáticos, del cual se deriven estudios de masa corporal y capacidad de atenuación en el cuerpo, con posibilidad de aplicación médica.

Continuar estudios longitudinales con la misma muestra de sujetos, a fin de establecer la secuencia de hechos y desviaciones cardiológicas. Trasladar esta metodología para caracterizar otros tipos de aeronaves militares y comparar sus emisiones con la variable cardíaca de sus tripulaciones.

En el campo de la valoración de la técnica eco cardiográfica, podría indagarse con respecto a indicadores que permitan predecir eventos cardiacos antes de la instalación de la sintomatología patológica.

En el campo de la farmacología, los estudios podrían generar estimaciones con respecto a medicamentos cuyos efectos mediados en corazón, puedan contrarrestar los efectos iniciales del impacto sonoro.

En el campo de la biología celular, los estudios pueden estar orientados a cotejar los impactos que las bajas frecuencias de sonido generados por aeronaves militares, puedan ocasionar en los cambios metabólicos de las células cardiacas sanas.

2.1.2 ÁREA: RUIDO OCUPACIONAL

Trasladar las aéreas temáticas anteriores, al impacto de ruido ocupacional pero a nivel industrial, generando otro grupo de líneas de investigación, que dependerán de las características ocupacionales.

2.1.3 ÁREA: DE LA JURISPRUDENCIA

Recopilar datos que contribuyan a sustentar el cambio en las bases de la medicina aeronáutica, en donde no se considera al ruido de los aviones como causal de patologías cardiacas y auditivas. Igualmente, para contribuir de manera científica a la concepción del ruido como factor de riesgo en impactos corporales, que en la actualidad rige exclusivamente en normas internacionales de trabajo, en valores de criterio para impacto auditivo.

2.1.4 ÁREA: TECNOLÓGICA

En la creación e innovación de protectores contra un impacto del ruido en el cuerpo, requiriendo para ello, la utilización de datos antropométricos, tipos de materiales, aplicación práctica, coeficientes de absorción, estandarización de impactos sonoros y demás variables que contribuyan a la generación de modelos.

2.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto es considerado como investigativo ya que se basa en la aplicación de protocolos de medición estipulados en normas internacionales y nacionales. Así mismo el campo de aplicación del proyecto consiste en realizar mediciones acústicas in situ y en recintos acústicamente adecuados, evaluando el desempeño de protectores auditivos con tecnología C.A.R, en los que se tendrán resultados que serán comparados con valores estipulados de fábrica, por ende resulta ser empírico-analítico. Realizando los estudios y mediciones específicas se brinda una

solución para una problemática en el campo de salud ocupacional como lo es la contaminación acústica en ambientes laborales, brindando una solución ingenieril e íntegra para el desarrollo y protección de la sociedad.

2.3 HIPÓTESIS

Los protectores auditivos con tecnología C.A.R representan una solución eficaz para atenuar frecuencias bajas, características de los motores, dentro de la cabina del helicóptero.

2.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES

2.4.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

- El ruido generado por el motor del helicóptero dentro de la cabina y el conjunto de equipos para lograr su mantenimiento diario, ya que conforman el objeto de estudio y las mediciones sonoras como campo experimental de éste trabajo.
- Condiciones atmosféricas: las condiciones de temperatura y humedad, son parámetros que no se pueden controlar, simplemente monitorear, y juegan un papel muy importante ya que estas variables intervienen directamente

2.4.2 VARIABLES DEPENDIENTES

- Se obtienen diferentes resultados si la medición se realiza con la puerta abierta y cerrada, dependiendo su labor y diseño.
- Los materiales de fabricación de la cabeza artificial influye en la medición de los protectores.
- Homogeneidad del campo sonoro: es posible controlar el campo sonoro que se produce en un recinto manipulando las superficies en las cuales el sonido interactúa en el interior de una sala, y además trabajando con la distribución de fuentes con el fin de realizar mediciones acústicas de los protectores.
- Nivel de presión sonora: este parámetro relaciona directamente las cualidades y características de los altavoces y el amplificador de potencia eléctrica usada en el experimento, este valor se puede manipular variando los niveles de ganancia que ofrece el amplificador mencionado.
- Tiempos de irradiación sonora del helicóptero: este parámetro también puede llegar a ser relevante en los resultados que ofrece la

experimentación, ya que conociendo que el tratamiento es efectivo en los momentos donde la irradiación del ruido al receptor es prolongada, siempre y cuando el tiempo de vuelo permitido sea

2.4.3 VARIABLE DE CONTROL

- Las especificaciones de los protectores auditivos las cuales serán analizadas y comparadas con la experimentación con pruebas acústicas.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 SONIDO

Perturbación física en el aire, la cual origina ondas sonoras. El oído, actuando como receptor de estas ondas, las interpreta como sonido. Es necesario de un medio elástico para su propagación.

3.2 SALUD OCUPACIONAL

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la salud ocupacional como una actividad multidisciplinaria que promueve y protege la salud de los trabajadores. Esta disciplina busca controlar los accidentes y las enfermedades mediante la reducción de las condiciones de riesgo.

3.3 CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

Cotidianamente es definido como ruido o sonido molesto al que se está expuesta una persona o grupo de personas, y que causa efectos nocivos para la salud, tanto física como psicológicamente.

3.4 RUIDO

Es definido como cualquier sonido que resulte molesto sin embargo no necesariamente resulta nocivo para el receptor. Su intensidad se mide en decibelios (dB).

3.5 RUIDO PROFESIONAL

Define el ruido característico de cada profesión, es decir, los sonidos causados por maquinarias, motores y demás elementos característicos del puesto laboral al que se dedique una persona. La ley busca regular y proteger al trabajador de éste riesgo al que está expuesto.

3.6 RUIDO COMUNITARIO

Es el ruido causado y controlado por el humano y no por maquinaria o procesos industriales, dentro de los ejemplos más claros se encuentran fiestas, conciertos, estadios, etc.

3.7 UNIDAD DEL SONIDO (dB)

La unidad para cuantificar el sonido es $\text{Pa} = \text{N/m}^2$ (*Pascal = Newton por metro cuadrado*). Aunque se utiliza una escala logarítmica para referirse a la presión sonora, para hacer la escala manejable. Se define el **Nivel de Presión Sonora** como:

$$SPL = 10 \cdot \log\left(\frac{P^2}{P_{ref}^2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right) \quad (dB) \quad \text{Ec. 1}$$

El nivel de referencia de presión sonora, $P_{ref} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ se referencia del umbral de audición humano a 1.000 Hz.

3.8 POTENCIA ACÚSTICA

La potencia acústica que irradia una fuente sonora, brinda información acerca del nivel de presión sonora en cualquier punto de la sala o el entorno. El Nivel de Potencia Sonora en dB se puede calcular:

$$L_w = 10 \cdot \log\left(\frac{W(\text{vatios})}{W_{ref}}\right) \quad (dB) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde $W_{ref} = 10^{-12} \text{ wat}$.

3.9 LA INTENSIDAD ACÚSTICA

Se puede definir como el flujo medio de energía en una superficie perpendicularmente a la dirección de propagación. La unidad que la define es el vatio/m^2 . El Nivel de Intensidad Sonora se puede definir como:

$$L_i = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_{ref}}\right) \quad (dB) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde $I_{ref} = 10^{-12} \text{ wat/m}^2$.

Ecuaciones **Ec1** , **Ec.2** , **Ec.3** y **Ec.4** tomadas de Curso de Prevención y Control de la Contaminación Acústica; Departamento de señales y comunicaciones. Capítulo 1. http://webs.uvigo.es/gcastro/PFC/Capitulo_uno_b.htm [En línea]

3.10 RELACIÓN ENTRE PRESIÓN, POTENCIA E INTENSIDAD

La intensidad acústica y la presión acústica solamente se pueden relacionar en campo libre, o sea en un ambiente sin reflexiones. En cualquier punto y en la misma dirección de propagación se puede decir que:

$$I = \frac{P_{rms}^2}{\rho \cdot c} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde ρ es la densidad del aire y c la velocidad de propagación del sonido. El producto $\rho \cdot c$ recibe el nombre de Impedancia Característica del Medio y su valor, para una temperatura $T = 20^\circ\text{C}$ y presión atmosférica $P_s = 0.751 \text{ mm de Hg}$ es de $z = \rho \cdot c = 406 \text{ rayls}$

3.11 RIESGOS Y ENFERMEDADES

3.11.1 ACÚSTICAS

3.11.1.1 Umbrales de tolerancia

Los umbrales de tolerancia hacen referencia a los niveles máximos de presión sonora que la persona puede soportar sin sentir incomodidad o cualquier manifestación de dolor relacionado con la exposición auditiva. La siguiente figura muestra los niveles a los que pueden ser expuestos los oyentes generando las sensaciones de incomodidad, cosquilleo, dolor y producir un daño en el sistema auditivo.

TABLA 13.1. Umbrales de tolerancia †.		
Umbral de	Tonos puros	
	Oídos descansados	Oídos expuestos
Incomodidad	110	120
Cosquilleo	132	140
Dolor	140	
Daño inmediato	150 a 160 ‡	

Figura 1. Umbrales de tolerancia máxima.

3.11.1.2 Trauma Acústico

Es un daño causado por un ruido corto pero con intensidad alta, tal como una explosión, o por ruidos fuertes y prolongados, tales como ruidos en un ambiente de trabajo bastante ruidoso, afectando los órganos del oído interno, entre ellos el órgano de Corti.

3.11.1.3 Desplazamiento temporal del umbral inducido por el ruido

Consiste en la disminución del umbral auditivo como resultado de una elevación de los niveles de ruido. Como su nombre lo indica, es temporal puesto que es reversible siempre y cuando no se esté expuesto al ruido por grandes cantidades de tiempo.

3.11.1.4 Desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido

Consiste en el mismo efecto anteriormente mencionado, con la diferencia de que éste es irreversible al estar expuesto por largas jornadas de tiempo a un ruido determinado, o si se somete el oído a un impulso con elevados niveles de ruido en poco tiempo

3.11.1.5 Tinnitus

Consiste en la presencia constante de ruido (generalmente zumbidos graves o agudos) sin que existan fuentes externas que lo generen, es decir, la persona percibe éstos ruidos dentro de su cabeza resultando altamente molesto.

3.11.2 CARDIOVASCULARES

- Taquicardia y elevación de la presión sanguínea.
- Incremento de la frecuencia respiratoria.

3.11.3 PSICOLÓGICOS

- Secreción de hormonas suprarrenales (típico de las reacciones de alarma y de estrés agudo).
- Disminución del estado de vigilancia, dificultad para concentrarse, descenso del rendimiento e incomunicación con el entorno.
- Inquietud, irritabilidad, trastornos del sueño, fatiga.
- Hipoacusia sensorial permanente
- Fatiga auditiva
- Enmascaramiento de la audición

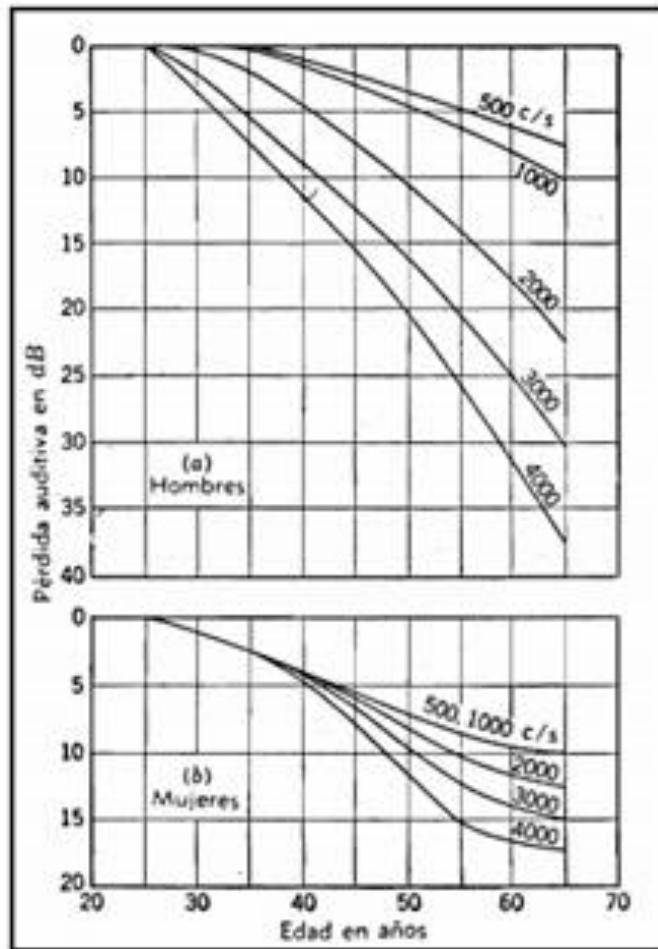


Figura 2. Curvas de desplazamiento del umbral auditivo según la edad y el género.

3.12 RUIDO EN LA AVIACIÓN MODERNA

Pese al avance de la tecnología y las nuevas formas de construcción de aeronaves, los problemas de contaminación acústica provocados por el transporte aéreo han incrementado en las últimas décadas debido a la aproximación de las ciudades a los aeropuertos y al aumento del tráfico aéreo. Ya que no sólo depende de las aeronaves sino de todos los sistemas de mantenimiento y el control del tráfico aéreo. Es innegable que el ruido percibido por los receptores en tierra es bastante fuerte debido a los niveles generados por los motores mecánicos y de turbina, sin embargo ya no sólo se analiza éste campo, sino al interior de las aeronaves con tal de proteger a los pilotos y tripulación.

3.13 HELICÓPTERO

Aeronave diseñada para despegar y aterrizar de forma vertical, permitiendo así el fácil desplazamiento en cualquier dirección. Los helicópteros están clasificados como aeronaves de alas giratorias para distinguirlos de las aeronaves de ala fija porque los helicópteros crean sustentación con las palas que rotan alrededor de un eje vertical.

En la **Tabla 1. Niveles de mediciones del ruido en el Bell 212 de Helicóptero Service AIS durante un vuelo normal.**, se muestra los niveles generados por un helicóptero.

3.13.1 FUENTES DE RUIDO DEL HELICÓPTERO

- Ruido del rotor
- El ruido del motor
- El ruido de transmisión

El ruido de un rotor se puede dividir en varias fuentes distintas, que se describirán de la siguiente manera:

3.13.2 RUIDO ESPESOR

Éste tipo de ruido es dependiente de la forma de las palas de la hélice del helicóptero ya que influye en el paso del aire a través de ella generando un sonido altamente molesto desde una perspectiva interior y exterior de la aeronave.

3.13.3 CARGANDO RUIDO

La fuerza en el aire en torno a la hélice del rotor principal ocasiona un efecto aerodinámico adverso que produce ruido en bajas frecuencias.

3.13.4 RUIDO DE BANDA ANCHA

Ruido que abarca gran cantidad de frecuencias, en helicópteros es generado por el rotor principal, turbulencia y la fricción de la hélice con el viento entre otros.

3.13.5 RUIDO IMPULSIVO DE ALTA VELOCIDAD

Gran cantidad de energía generada en un corto lapso de tiempo en la hélice principal o de avance el ruido se dirige típicamente en el plano del rotor hacia adelante del helicóptero, como el ruido espesor.

3.13.6 RUIDO DEL ROTOR DE COLA

Este tipo de ruido en particular afecta al oído humano puesto que su rango de frecuencias se encuentra ubicado en la banda de medias – altas, en las que el oído es más sensible.

3.13.7 LOS MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE RUIDO

Puesto que en los helicópteros el motor se encuentra en la parte superior, se han diseñado silenciadores para atenuar el ruido generado por el mismo. Sin embargo se hace énfasis en la aplicación de motores de turbina el cual es más fácil de controlar. Una técnica posible para la reducción de ruido de helicóptero de rotor es de 'separación de palas modulada'. Las palas del rotor estándar están espaciadas uniformemente, y producen mayor ruido en una frecuencia particular y sus armónicos. El uso de diversos grados de separación entre las cuchillas propaga el ruido del rotor sobre una gama más amplia de frecuencias mucho más fácil de atenuar.

3.14 ACOUSTIC TEST FIXTURE (ATF)

Dispositivo que simula una cabeza humana en sus dimensiones físicas, permitiendo realizar mediciones objetivas del comportamiento del sonido en el oído humano. Utilizado generalmente para la medición por pérdida de inserción y calidad de protectores auditivos. No aplica para análisis de confort ni medición subjetiva.

3.15 PROTECTOR AUDITIVO CONVENCIONAL

Equipos que reducen los efectos del ruido en el oído obstaculizando la trayectoria del sonido hacia el oído interno o aislando al oído de la fuente de ruido dependiendo las características del protector, protegiendo al oyente desde el oído externo.

3.15.1 OREJERAS

Ideal para la protección de frecuencias medias altas. Este dispositivo encierra por completo el pabellón auditivo externo y se aplica herméticamente a la cabeza por medio de una almohadilla de espuma plástica.

3.15.2 OTROS TIPOS

- **Protectores dependientes del nivel:** Están concebidos para proporcionar una protección que se incremente a medida que el nivel sonoro aumenta.

- **Protectores con reducción activa del ruido:** Se trata de protectores auditivos que incorporan circuitos destinados a suprimir parcialmente el sonido por medio de cancelación de ondas.

3.16 CONTROL ACTIVO DE RUIDO

Etapas del proceso de control activo de ruido aplicado en la acústica

- ➔ Captación señal original
- ➔ Procesamiento de Señal desfase de 180°
- ➔ Superposición de señales con fase opuesta
- ➔ Señal resultante reducida

3.16.1 LA INTERFERENCIA DESTRUCTIVA

Se conoce como interferencia destructiva cuando dos ondas se atenúan entre sí al momento de cruzarse, cabe aclarar que sólo sucede cuando la cresta de la primera onda se superpone con el valle de la segunda.

3.16.2 CONTROL ACTIVO DE RUIDO EN DISPOSITIVOS AUDITIVOS

Consiste en protectores auditivos que tienen incorporado un circuito electro-acústico que cumple con el principio de superposición de ondas, se logra la cancelación del ruido proveniente por medio de la reproducción del mismo ruido con la misma magnitud en fase contraria para lograr la atenuación total.

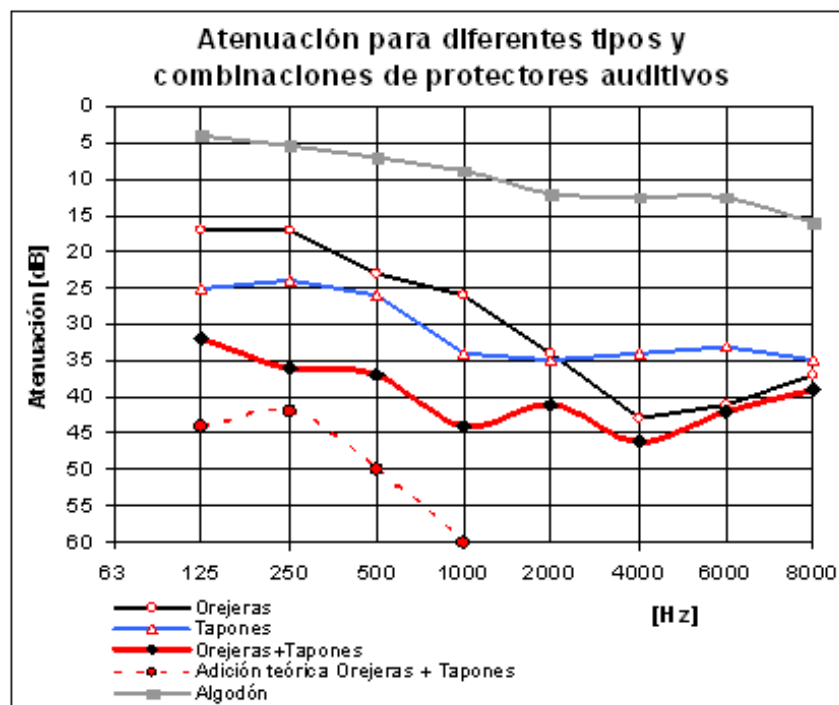


Figura.3. Atenuación para diferentes tipos y combinaciones de protectores auditivos.

3.16.3 FILTROS ADAPTATIVOS

Consiste en diferentes configuraciones en las que un primer micrófono identifica el ruido o señal proveniente y por medio de un segundo micrófono genera una señal de error que sumada con la original y desfasada, crean una señal anti ruido lo más exacta posible. Como su nombre lo indica no maneja un rango específico sino depende de la señal proveniente del exterior, es decir, se adaptan.

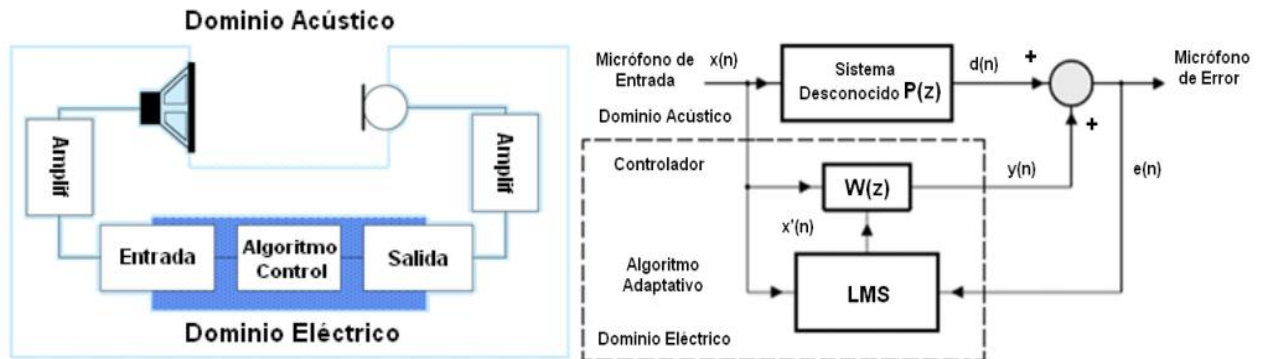


Figura 4. Diagrama de bloques de aplicación de filtro adaptativos en DAA. Imagen extraída del sitio web de “Headwise” [Headwise, 2008].

3.16.4 FEED FORWARD

Configuración que filtra la señal proveniente por medio de un micrófono de error que mide el ruido residual, el cual la procesa mediante la función de transferencia característica del filtro diseñado, manteniendo el estado del sistema estable ya que no es retroalimentado.

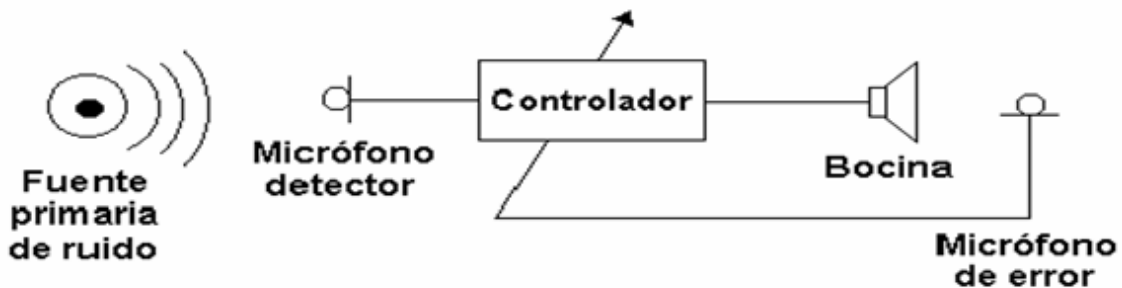


Figura 5. Configuración Feedforward para control activo de ruido acústico.

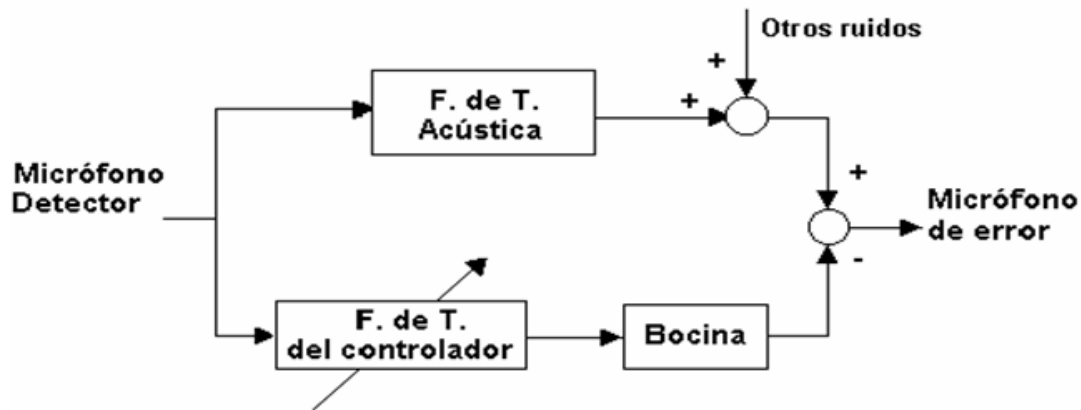


Figura 6. Estructura Feedforward de control adaptable
(F de T.: Función de transferencia)

3.16.5 FEEDBACK

Configuración que por medio de un micrófono capta la señal proveniente y por medio de un segundo micrófono de error genera una señal de fase contraria permitiendo una atenuación bastante alta, éste tipo de configuración depende de la función de transferencia del medio acústico en el cual se propaga la señal.

Ésta configuración proporciona una atenuación limitada a un rango de frecuencias siendo menos efectivo en frecuencias altas cuando resulta difícil controlar su fase.

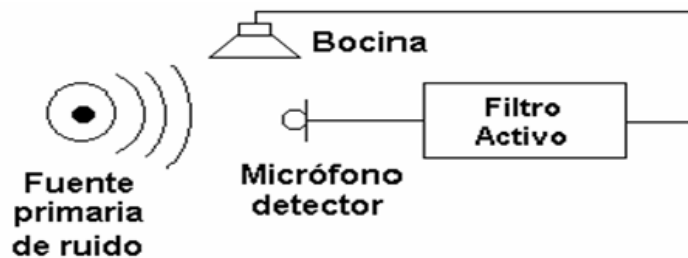


Figura 7. Configuración Feedback para control activo de ruido.

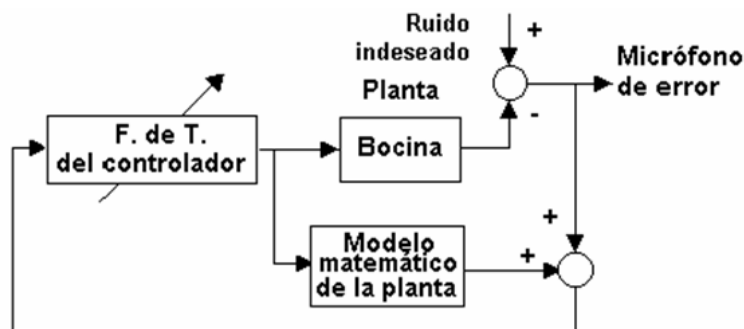


Figura 8.. Estructura Feedback de control adaptable.
(F. de T.: Función de Transferencia)

3.17 METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN

- Método REAT (*Real-Ear Attenuation at Threshold*)
- Método MIRE (*Microphone in Real Ear*)
- Métodos ATFs (*Acoustical Test Fixtures*)

3.17.1 MÉTODO REAT (REAL EAR ATTENUATION AT THRESHOLD)

El método REAT o Subjetivo es el procedimiento de prueba utilizado para medir el rendimiento de dispositivos de protección auditiva en seres humanos en el laboratorio. El procedimiento mide la diferencia de nivel de presión sonora entre los oídos de los sujetos. El método REAT es utilizado para medir no sólo la capacidad del dispositivo para atenuar el sonido en el oído, sino el grado en que el dispositivo se ajusta a los oídos de los sujetos permitiendo realizar análisis de confort y diseño de los dispositivos anteriormente mencionados.

3.17.2 MÉTODO MIRE (MICROPHONE IN REAL EAR)

El método MIRE a pesar de usar sujetos de prueba es conocido como una medición objetiva, ya que los resultados del método son obtenidos a través de la respuesta de un micrófono, sin depender de la respuesta humana. La metodología utiliza el parámetro "Insertion Loss" (IL), que es la diferencia entre el nivel de presión sonora con y sin protector auditivo.

3.17.3 MÉTODOS ATFS (ACOUSTICAL TEST FIXTURES)

Método objetivo para la evaluación de la atenuación del ruido. Consiste en la construcción de un dispositivo que simula las características físicas de la cabeza humana, algunos incluyen torsos y la forma exacta de los oídos, sin embargo no son prerrequisitos fundamentales mientras las dimensiones del dispositivo concuerden con las medidas de la cabeza. Éste método se utiliza para el control de calidad de protectores auditivos más no para la percepción subjetivo de los mismos, en los que se evalúa las variables de ajuste y confort.

Tabla 2. Comparación entre los 3 métodos de medición de dispositivos con C.A.R

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas
REAT (Real Ear Attenuation at Threshold)	* Método Subjetivo o Psicofísico. * Mide el desplazamiento (cambio) del umbral auditivo. * Utiliza 10 individuos entrenados. * Representativo para protectores auditivos convencionales. * Atenuación en términos de pérdida por inserción (IL).	* Considera trayectoria por vía ósea. * Gran aceptación a nivel mundial. * La mayoría de los fabricantes de protectores auditivos han reportado sus datos con este procedimiento.	* Utilizado sólo en condiciones de laboratorio. * Problemas de enmascaramiento en bajas frecuencias, en condiciones de umbral abierto (open threshold). * Presenta variabilidad subjetiva. * Mediciones que ocupan demasiado tiempo. * Se necesita bajo ruido de fondo. * No es aplicable para ruidos impulsivos. * Sobreestimación debido a ruido fisiológico.
MIRE (Microphone in Real Ear)	* Método (semi) Objetivo o Físico que utiliza a un individuo, él que no responde al estímulo. * Utiliza dos pequeños micrófonos. * Procedimientos de medición utiliza la reducción de ruido (NR).	* Permite hacer mediciones tanto en laboratorio como in situ. * Fácil y rápido de utilizar. * Es aplicable para medir sonidos impulsivos de 80 a 100 dB ó más. * Usado para evaluar la atenuación de tapones auditivos y orejeras.	* Pueden producirse fugas acústicas por mal sellamiento, debido a la inserción del micrófono. * No considera trayectoria por vía ósea.
ATFs (Acoustical Test Fixtures)	* Método Objetivo o Físico. * No utilizan individuos. * Procedimientos de medición utilizan la pérdida por inserción y reducción de ruido.	* Se pueden hacer mediciones con ruido impulsivo. * Usado en el diseño, control de calidad y ensayos con orejeras dependientes del nivel (activos).	* No pueden caracterizar adecuadamente la cabeza (forma del cráneo) de un individuo y su sistema auditivo. * No considera variables de ajuste y confort.

3.18 MARCO NORMATIVO LEGAL

3.18.1 PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE PROTECTORES ACÚSTICOS TIPO OREJERA SEGÚN LA NORMA ISO (4869-3:2007)

Para diseñar este protocolo de medición se tiene en cuenta que los sistemas que se van a utilizar son los suministrados por la universidad y algunos suministrados por los estudiantes. El software por medio del cual se van a hacer los cálculos del

lugar de ensayo respecto a tiempo de reverberación es Easera ya que cuenta con herramientas precisas de cálculo y obtención de resultados, y para realizar el análisis de nivel de presión sonora, se hará uso del software SIA Smaart Live.

El primer paso es verificar si el lugar de ensayo, los sistemas de medición y la señal de prueba está acorde con los requerimientos de la norma ISO 4869-3: 2007. La verificación de estos elementos se hace de la siguiente manera:

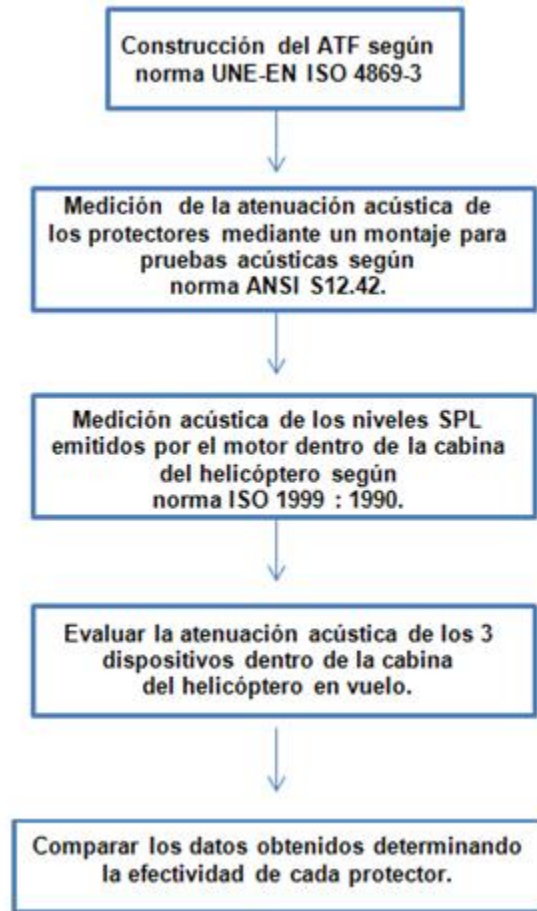


Figura 9. Diagrama de normativa legal y desarrollo ingenieril

3.18.1.1 Lugar de ensayo:

El campo acústico de ensayo debe constar o bien de un campo de incidencia aleatoria o bien de una onda progresiva plana de una calidad especificada según la norma ISO 4869-3:2007, en este caso se va a usar un campo de incidencia aleatoria.

Esta medición se puede hacer con un ruido rosa lo importante es que para que el lugar de ensayo sea de incidencia aleatoria debe cumplir las siguientes condiciones según la norma ISO 4869-1:

- a) La diferencia entre los niveles de presión acústica medidos con ayuda de un micrófono omnidireccional en las posiciones situadas a 15 cm del punto de referencia sobre los ejes antero-posterior, derecha-izquierda y arriba-abajo, y el nivel de presión acústica en el punto de referencia no debe ser mayor a 2.5 dB para cualquiera de las señales de ensayo. Además, la diferencia correspondiente a las posiciones derecha-izquierda extremas no debe superar 3 dB. La orientación del micrófono debe mantenerse idéntica en todas las posiciones.
- b) En bandas de ensayo con una frecuencia central de 500 Hz y superior, el rango de los niveles de presión acústica en el punto de referencia debe situarse dentro de 5 dB para cualquiera de las dos direcciones de medición de la energía acústica incidente cuando se mide con un micrófono direccional con un índice de sensibilidad frontal-a-aleatoria de al menos 5 dB, esto quiere decir que se mide con un micrófono direccional en varios ángulos alrededor de su eje y en las distintas posiciones no debe variar en más de 5dB la diferencia de presión, este micrófono también debe estar ubicado en el punto de referencia.
- c) El tiempo de reverberación en el lugar del ensayo no debe exceder de 1,6 seg en todas y cada una de las bandas de ensayo.

3.18.1.2 Sistemas de medición:

La sensibilidad del micrófono, el preamplificador y el rango dinámico será suficiente para satisfacer la relación señal/ruido, se prestará especial atención a garantizar la ausencia de recorte máximo en altos niveles de ensayo. Los micrófonos deberán tener una sensibilidad calibrada y la respuesta de frecuencia de 80 Hz a 12,5 kHz esto según la norma ANSI/ASA S12.42:2010

3.18.1.3 Micrófono y preamplificador distorsión y linealidad

El micrófono y el preamplificador deberán demostrar no más de 5% de distorsión total sobre la gama completa de niveles de presión acústica de pico hasta el nivel máximo para ser probado. Para el ATF midiendo con una señal continua como un ruido rosa el nivel de presión acústica pico se considera que es 12 dB por encima del nivel de presión sonora máximo rms a ensayar.

3.18.1.4 Características del micrófono

El micrófono de medición debe ser del tipo WS1P o WS2P de acuerdo con la Norma IEC 61094-4. Debe ser del tipo condensador de presión. El micrófono se

debe colocar de manera que su eje central coincida con el eje central del cilindro. El centro del diafragma del micrófono debe estar en el plano de una de las extremidades del cilindro en la línea central.

3.18.1.5 Señal de prueba

Estos sistemas se pueden basar en señales de ruido rosa de banda ancha, en secuencias de longitud máxima, en mediciones de respuesta por impulsos, etc. El análisis debe indicar la pérdida por inserción en bandas de un tercio de octava. Las bandas deben estar de acuerdo con la Norma IEC 61260. El rango de frecuencias de las frecuencias centrales debe ser al menos de 63 Hz a 8 000 Hz. El instrumento indicador debe indicar el nivel RMS.

Es probable que se necesiten los niveles de presión acústica desde 75 dB (frecuencias bajas) a 85 dB (frecuencias elevadas) en el lugar de ensayo si el ruido de fondo no es muy alto, se debe garantizar una relación señal/ruido de al menos 10 dB en todas las bandas de frecuencia de un tercio de octava y durante el ensayo, el nivel de presión acústica de la señal de ensayo no debe variar en más de ± 1 dB con respecto al nivel anterior al inicio de la medición. La respuesta en frecuencia en bandas de un tercio de octava del sistema debe ser tal que la diferencia entre cualesquiera dos bandas adyacentes no sea mayor a 5 dB.

3.18.1.6 Posicionamiento de la orejera

Las orejeras se deberán colocar de la siguiente manera.

Se colocan las orejeras en el ATF, asegurándose de que las almohadillas están centradas a cada cara extrema. Se aprieta la banda de cabeza simétricamente de manera que solo toque el soporte de la banda de cabeza adecuada. Para las modalidades de detrás del cuello, asegúrese de que la correa de cabeza (si se coloca) pase sobre la parte superior del soporte del arnés de cabeza para estabilizar las orejeras en el ATF. Se deberá ajustar una banda de cuello de forma que los auriculares estén lo más simétricamente posibles respecto a los extremos del ATF.

3.18.1.7 Medición

Los niveles de presión acústica en el micrófono se deben medir primero sin las orejeras. A continuación, se debe colocar el protector auditivo según se especifica. Una vez que el protector auditivo ha permanecido en posición durante 30 s, se miden los niveles de presión acústica de nuevo. La diferencia de los niveles de presión acústica en cada banda de un tercio de octava es la pérdida por inserción del dispositivo, determinado de acuerdo con esta parte de la Norma ISO 4869. Luego de esto se mide con el protector con tecnología car encendido.

3.18.1.8 Repetición

La pérdida por inserción no depende únicamente del protector auditivo, sino también del ajuste del protector auditivo en el ATF. Se deben realizar al menos tres repeticiones de las mediciones, a menos que se disponga de suficiente experiencia sobre la repetitividad de los resultados de las mediciones para el dispositivo sometido a ensayo

3.18.1.9 Incertidumbre

La incertidumbre de los resultados obtenidos a partir de las mediciones de acuerdo con esta parte de la Norma ISO 4869 se debe evaluar de acuerdo con la Guía ISO/IEC 98. Se debe indicar la incertidumbre expandida, junto con el correspondiente factor de cobertura para una probabilidad de cobertura indicada del 95%, según se define en la Guía ISO/IEC 98. En el anexo B de la norma ISO 4869-3 se proporciona orientación sobre la determinación de la incertidumbre expandida.

4 DESARROLLO INGENIERIL

El proyecto inicia con la construcción del dispositivo de medición ATF (Acoustic Test Fixture), posteriormente se realizarán mediciones acústicas para determinar la efectividad y atenuación acústica de los 3 protectores en un recinto que cuente con un acondicionamiento acústico apto para tales registros, los cuales serán comparados con los datos del fabricante. A continuación se desarrollarán mediciones “in situ” dentro de la cabina del helicóptero para determinar los niveles de SPL generados por el motor de rotación principal, posteriormente se implementarán los 3 protectores en el ATF dentro de la cabina y se realizarán mediciones sobre la efectividad de atenuación acústica, y finalmente se analizarán los resultados obtenidos.

4.1 CONSTRUCCIÓN ATF (ACOUSTIC TEST FIXTURE)

El ATF debe estar hecho de un material no magnético, por ejemplo una aleación de aluminio o latón. En éste caso se utilizó madera de cedro sin ningún componente magnético dentro de sus materiales de construcción, la base que sostiene al equipo de medición es de aluminio. Tiene que tener la forma de un cilindro con su eje horizontal y con (145 ± 1) mm entre los centros de las dos caras extremas. El diámetro del cilindro debe ser de (135 ± 5) mm; Los ángulos de cada una de las dos caras extremas deben estar inclinados hacia la parte superior a $4,5^\circ \pm 0,5^\circ$ con respecto a un plano vertical.

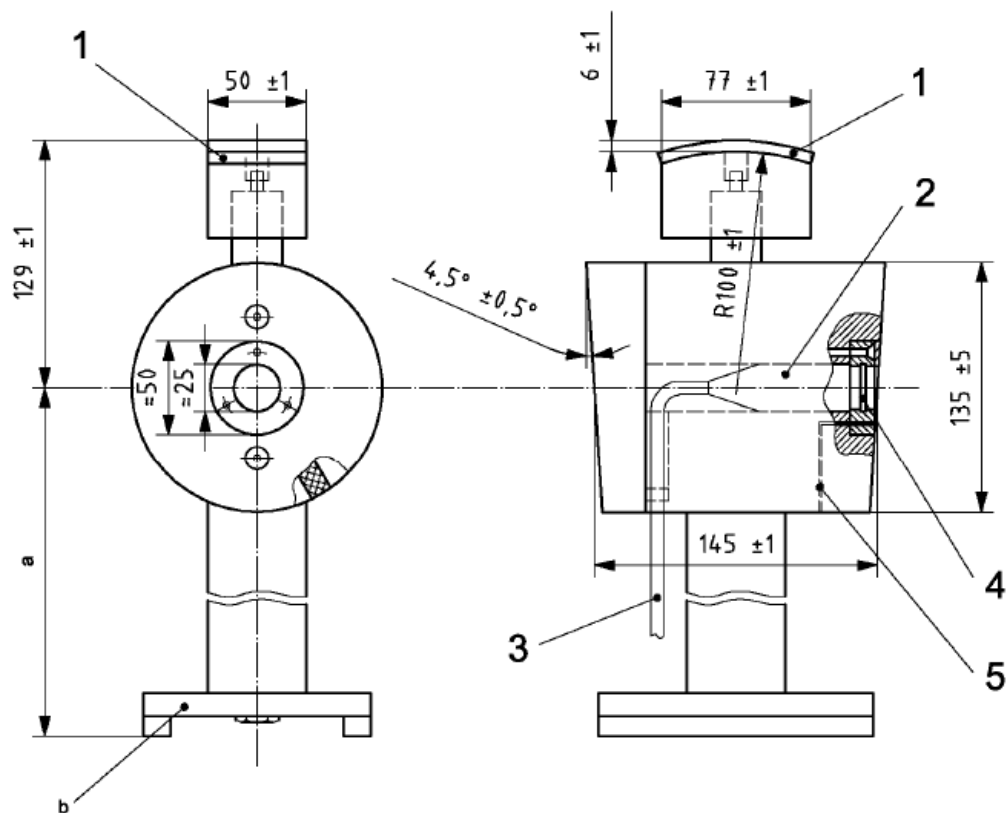


Figura 10. Dimensiones del ATF Según norma ISO 4869-3:2007

DESCRIPCIÓN DEL MICRÓFONO AKG C417

- Micrófono profesional de condensador.
- Micrófono de solapa extremadamente ligero.
- Excelente calidad de audio en todo el ancho de banda.
- Incluye conector XLR para la alimentación fantasma.

ESPECIFICACIONES

- Patrón polar omnidireccional.
- Rango de frecuencia: de 20 a 20000Hz.
- Impedancia: 200 Ohm.
- 3 pines XLR.
- Cable de 3 metros.
- Acabado: Negro mate.
- Peso: 68gr.



Figura 11. ATF vista lateral



Figura 12. ATF vista frontal

4.2 LUGAR DE ENSAYO:

El campo acústico de ensayo debe constar o bien de un campo de incidencia aleatoria o bien de una onda progresiva plana de una calidad especificada según la norma ISO 4869-3:2007, en este caso se va a usar un campo de incidencia aleatoria.

4.2.1 TIEMPO DE REVERBERACIÓN

- Micrófono de medición (DBX RTA-M)
- Micrófono direccional
- Fuente omnidireccional 1 (dodecaedro) 01dB
- Computador con el software Easera
- Interface de audio con preamplificador (Audiobox PreSonus)
- Cables XLR x2
- Cable TRS x1
- Pistófono

Para la medición y el análisis de los tiempos de reverberación en la sala se siguieron los parámetros estipulados en la norma **ISO 3382**.

Tabla 3. Tiempos de reverberación por tercio de octava en lugar de ensayo.

Frecuencia	Rt (s)
100 Hz	0,96
125 Hz	0,52
160 Hz	0,32
200 Hz	0,2
250 Hz	0,26
315 Hz	0,28
400 Hz	0,4
500 Hz	0,32
630 Hz	0,44
800 Hz	0,35
1000 Hz	0,32
1250 Hz	0,4
1600 Hz	0,41
2000 Hz	0,38
2500 Hz	0,34
3150 Hz	0,37
4000 Hz	0,27
5000 Hz	0,31
6300 Hz	0,35
8000 Hz	0,29
10000 Hz	0,35

Los tiempos de reverberación del lugar de ensayo cumplen con los requisitos impuestos en la norma ISO 4869-3.

4.2.2 MEDICIÓN DE NIVEL SPL RESPECTO A PUNTO DE REFERENCIA

El primer paso es conectar los equipos y calibrar tanto la salida del generador de ruido como el micrófono, a continuación se procede a ubicar el micrófono omnidireccional de medición en el punto de referencia. Este punto debe estar ubicado a la altura de una persona promedio sentada y debe estar al menos a un metro de cualquier superficie grande reflejante.

PUNTO DE REFERENCIA: El punto de referencia es un punto medio de una línea que une los centros de las dos extremidades del ATF. Se procede a medir en 6 puntos cada uno a 15 cm del punto de referencia, en el eje anterior-posterior, derecha-izquierda y arriba-abajo como se muestra en la **Figura 6**.

Equipamiento para la verificación del lugar de ensayo:

- Micrófono de medición (DBX RTA-M)
- Micrófono direccional
- Fuente omnidireccional 1 (dodecaedro) 01dB
- Computador con el software SIA SMAART LIVE
- Interface de audio con preamplificador (Audiobox PreSonus)
- Cables XLR x2
- Cable TRS x1
- Pistófono

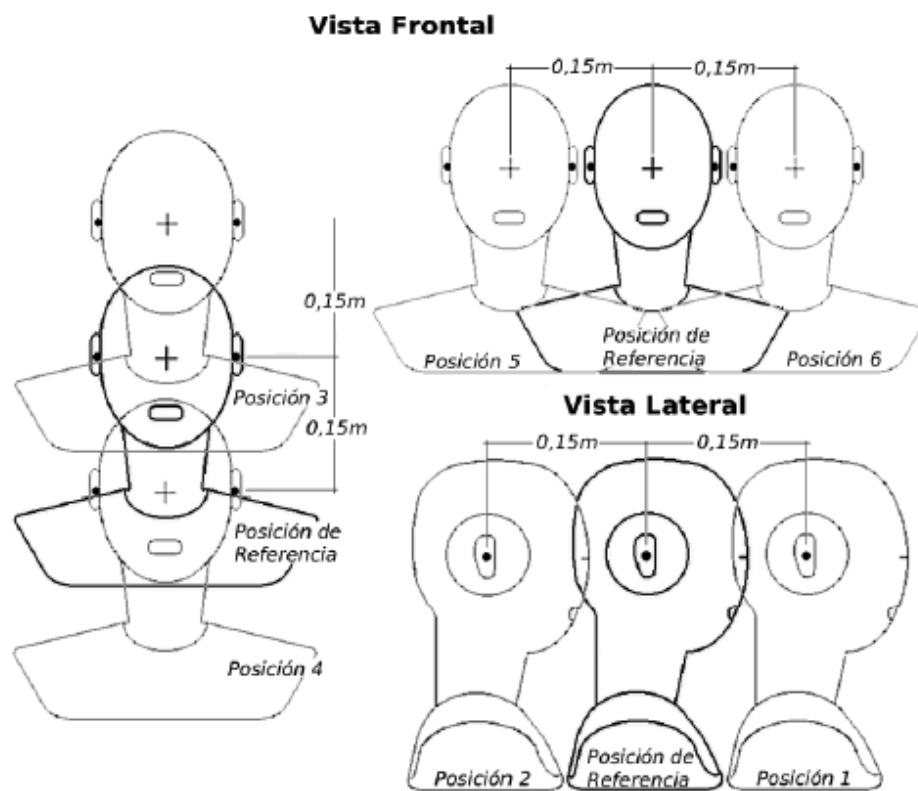


Figura 13. Posiciones de medición respecto a punto de referencia

Tabla 4. Niveles SPL medidos a 15 cm del punto de referencia

Frecuencia	Arriba (dB)	Abajo (dB)	Al frente (dB)	Al costado (dB)	Lado derecho (dB)	Lado Izquierdo (dB)	Diferencia Arriba- Abajo (dB)	Diferencia Frente – Costado (dB)	Diferencia Izquierda – Derecha (dB)
20 Hz	73,61	79,53	78,9525	80,185	80,84	77,72	-5,92	-1,2325	3,12
25 Hz	71,94	85,05	80,6975	85,185	85,32	86,21	-13,11	-4,4875	1,11
31,5 Hz	76,97	77,8	83,775	87,685	87,57	89,865	-1,83	-3,91	1,705
40 Hz	92,65	97,4	95,775	96,845	96,29	94,705	-4,75	-1,07	1,585
50 Hz	91,35	89,69	90,265	88,915	88,14	91,615	1,66	1,35	-3,475
63 Hz	84,8	88,48	83,8675	87,35	86,22	80,385	-3,68	-3,4825	5,835
80 Hz	87	88,18	83,1375	83,05	77,92	83,225	-1,18	0,0875	-5,305
315 Hz	83	86,54	86,535	87,865	89,19	85,205	-3,54	-1,33	3,985
400 Hz	90,04	89,63	89,8025	89,505	89,38	90,1	0,41	0,2975	-0,72
500 Hz	89,4	89,9	90,8175	90,975	92,05	90,66	-0,5	-0,1575	1,39
630 Hz	89,74	93,94	91,56	94,62	95,3	88,5	-4,2	-3,06	6,8
800 Hz	83,88	84,77	85,8675	88,085	91,4	83,65	-0,89	-2,2175	7,75
1000 Hz	84,34	85,38	87,0825	88,455	91,53	95,71	-1,04	-1,3725	4,82
1250 Hz	82	82,53	86,175	88,055	93,58	94,295	-0,53	-1,88	1,285
1600 Hz	84,35	79,38	85,49	85,46	91,54	85,52	4,97	0,03	6,02
2000 Hz	85,92	83,18	86,65	85,715	88,25	87,585	2,74	0,935	0,665
2500 Hz	82,36	82,12	84,9025	84,435	86,75	85,37	0,24	0,4675	1,38
3150 Hz	82,5	81,32	83,195	83,32	85,32	83,07	1,18	-0,125	2,25
4000 Hz	85,83	82,44	85,56	84,49	86,54	86,63	3,39	1,07	-0,09
5000 Hz	80,21	80,81	83,375	84,615	88,42	82,135	-0,6	-1,24	6,285
6300 Hz	93,07	85,98	90,5175	87,04	88,1	93,995	7,09	3,4775	-5,895
8000 Hz	86,61	84,12	86,675	85,585	87,05	87,765	2,49	1,09	-0,715
10000 Hz	83,17	81,37	83,1375	82,11	82,85	84,165	1,8	1,0275	-1,315

Se observa que en la mayoría del rango de frecuencias cumple las condiciones de la norma iso 4689-3, con respecto a que la diferencia entre opuestos (arriba-abajo, izquierda-derecha, frente-posterior) no supere los 5 Db, sin embargo algunas frecuencias no cumplen este criterio como lo son 25 Hz y otras que quedan cerca al margen de error como lo son 63, 80, 800 y 5000 Hz.

4.2.3 DISPOSITIVOS A EVALUAR

Tabla 5. Dispositivos a evaluar

Howard Leight Impact Sport	Peltor SportTac Hearing Protector	Peltor Tactical Pro Headsets
		
CARACTERÍSTICAS • Amplifica el sonido ambiente de seguridad 82 dB - tecnología de respuesta vuelva al protector auditivo pasivo cuando el ruido alcanza 82 dB • Permite que los usuarios escuchen las comunicaciones importantes, como los otros tiradores y los sonidos ambientales • Micrófonos estéreo direccional colocado amplifican y mejoran el sonido de la audición más natural • Diseño de bajo perfil con cut-out permite la liquidación completa de las existencias de armas de fuego, lo que elimina la interferencia durante la filmación • Cuenta con tecnología de atenuación óptima patentada Air Flow Control de Bilsom Technology™ en todas las frecuencias	CARÁCTERÍSTICAS • Tazas contorneados para un mejor capital de la soldadura y de la vista foto • Desconexión automática (2 horas) para conservar la duración de la batería • Amplifica el sonido ambiente a fin de que realmente se oye mucho mejor • Tecnología de supresión de sonido digital • Industrias posibles incluyen: la caza, campo de tiro, operadores de equipo pesado, manufactura, construcción, agrícola • NRR 20 dB ** El NRR puede sobrestimar la protección auditiva proporcionada durante el uso típico. • 3M recomienda reducir el NRR en un 50%	CARACTERÍSTICAS • Toma de entrada de audio que se puede utilizar con radios portátiles, reproductores de MP3 u otros dispositivos capaces de entrada. • NRR de 26 dBA • Electrónica limitan sonidos amplificados a 82 dBA a 2 milisegundos • Active-volumen ofrece distorsión máxima amplificación libre bajo nivel de sonido de hasta 18 dBA • Micrófonos estéreo omnidireccionales ofrecen 360 grados de escucha ambiental externa • Utiliza la nueva SUPRESIÓN DE SONIDO DIGITAL Peltor (DSST) la tecnología de chip • Ideal para el campo de tiro y las personas con pérdida de audición

Se escogieron estos 3 protectores auditivos ya que son usados en ambientes hostiles y para pruebas con armas (disparos), con el fin de asegurar la máxima protección para los pilotos y tripulación. Cumplen con las especificaciones de construcción para estos dispositivos y son de fácil acceso para el público civil. Las características individuales se observan en la **tabla 5** anteriormente mostrada así como en el **Anexo 4, 5 y 6** al final del documento se encuentran las especificaciones del fabricante de cada protector auditivo.

4.3 RESULTADOS DE ENSAYOS DE ATENUACIÓN DE RUIDO

Tabla 6. Secuencia Utilizada según norma ANSI/ASA S12.42: “ACAC”
(Abierto Cerrado, Abierto Cerrado)

a. La medición sin protectores, L_o .
b. Colocar el protector en el ATF.
c. Período de espera de 120 ± 5 s después del ajuste final.
d. Medición pasiva con el dispositivo apagado, L_{coff} .
e. Encender el Control Activo de Ruido.
f. Esperar 10 s (o más si así lo especifica el solicitante), con el ruido de prueba encendido.
g. Medición del protector con control activo de ruido encendido, L_{con}
h. Apagar el Control Activo de Ruido y retire el protector auditivo del ATF.

4.3.1 PARÁMETROS A ANALIZAR

4.3.1.1 Medición de la pérdida de inserción pasiva (PIL)

La pérdida de inserción pasiva de un dispositivo con control activo de ruido es la diferencia, $L_o - L_c$, los niveles medidos L_o como condición abierta (sin protectores) y la condición cerrada L_c (con protectores). Para dispositivo con control activo de ruido o dependientes del nivel activo se medirá con control activo apagado o sin alimentación (L_{coff}).

4.3.1.2 Medición de la pérdida activa de inserción (AIL)

La pérdida de inserción de un dispositivo con control activo de ruido es la diferencia, $L_{coff} - L_{con}$, entre los niveles medidos en la condición cerrada con la electrónica apagada (L_{coff}) y encendida (L_{con}). L_{coff} y L_{con} serán medidos durante el mismo montaje del dispositivo para el sujeto o ATF. El tono de prueba se mantendrá durante el período comprendido entre la medición del L_{coff} y L_{con} .

4.3.1.3 Medición de la pérdida de inserción total (TIL)

La pérdida total de la inserción de un dispositivo con control activo de ruido es la diferencia, $L_o - L_{con}$, entre los niveles medidos en la condición abierta (L_o) y de los niveles medidos en la condición cerrada con el control activo encendido (L_{con}).

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.

4.3.2 PROTECTOR AUDITIVO HOWARD LEIGHT IMPACT SPORT

4.3.2.1 Medición de la pérdida por inserción pasiva (PIL)

Tabla 7. Valores del promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Frecuencia (Hz)	PIL Howard Leight Impact Sport (dB)	Desviación PIL
20	4,27333333	2.1467
25	2,845	1.72134
31,5	0,22666667	3.4451
40	0,53333333	2.5781
50	-1,14	2.3436
63	-0,895	1.5245
80	-2,4591667	3.6572
100	-3,2291667	4.2216
125	-7,0383333	1.2467
160	-5,685	0.3987
200	-1,4983333	0.8465
250	6,5175	0.6134
315	8,23583333	0.6457
400	10,5591667	1.6124
500	14,575	2.3134
630	15,1008333	2.5467
800	16,9233333	3.6483
1000	18,9666667	4.8796
1250	19,245	1.2457
1600	19,3183333	2.3251
2000	19,4408333	2.8367
2500	20,8391667	1.7579
3150	25,2491667	1.8856
4000	22,1291667	1.5254
5000	22,345	1.3159
6300	26,6733333	1.8751
8000	29,5591667	1.6987
10000	29,4008333	0.2327
12500	30,3391667	0.3245
16000	14,1	0.2875
20000	2,28833333	0.4649

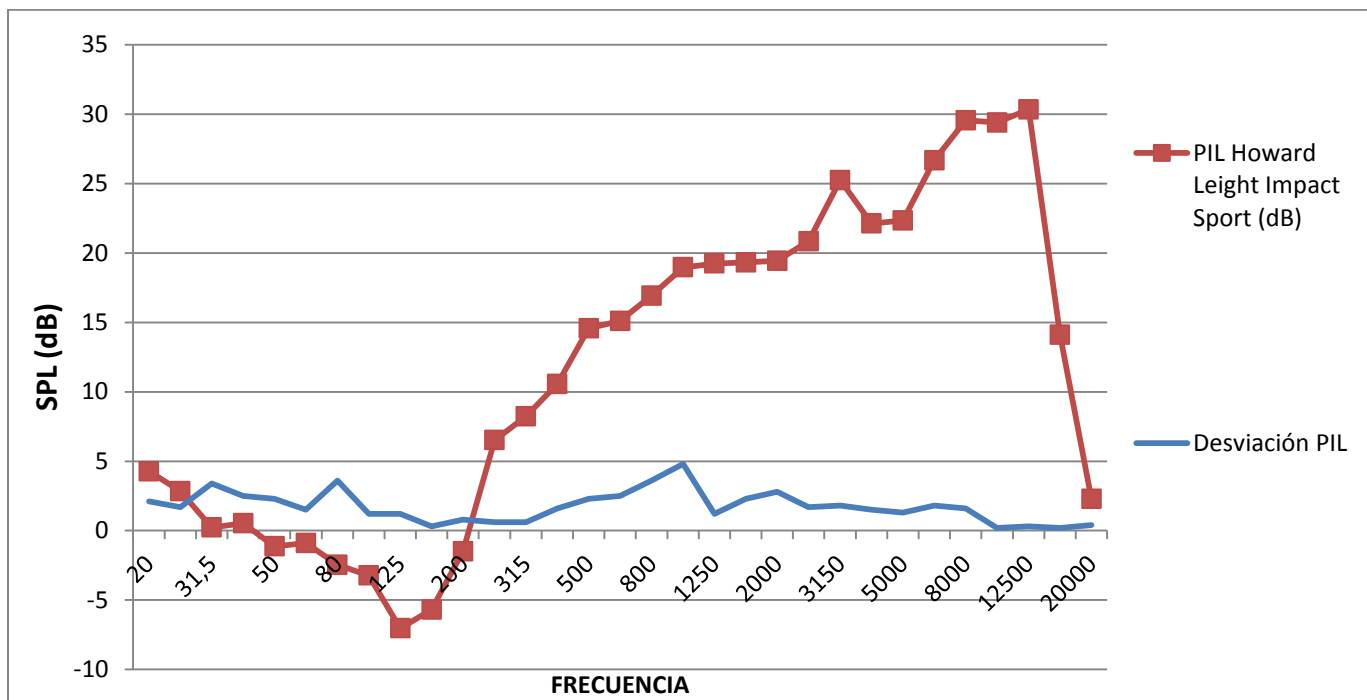


Figura 14. Promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

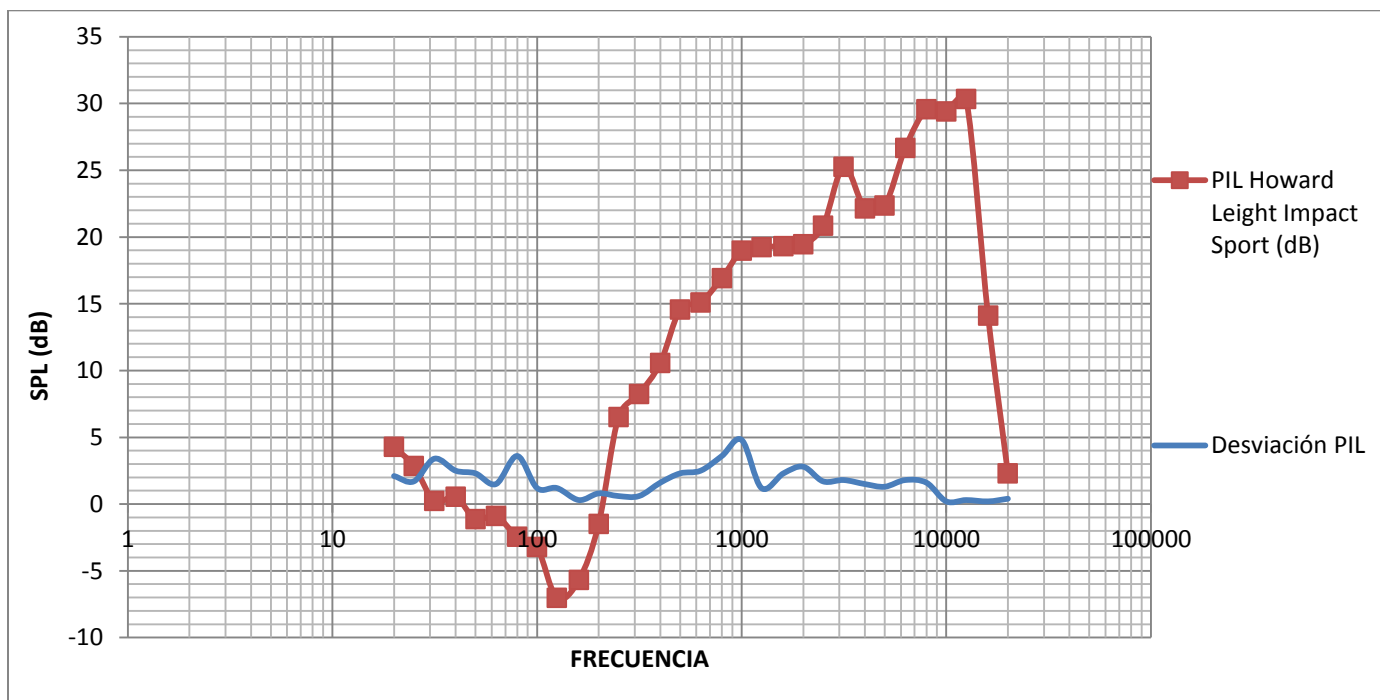


Figura 15. Gráfica Logarítmica del promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

En las **Figuras 14 y 15** se observa un comportamiento de atenuación acústica pasiva de los protectores Howard Leight Impact Sport por tercios de octava. A partir de 250 Hz hasta 20 KHz y en frecuencias bajas se observan valores negativos producto de la retroalimentación de señales dentro del ATF (Debido a sus materiales de construcción). El punto máximo de atenuación se sitúa en 12500 KHz con 30 dB de atenuación.

4.3.2.2 Medición de la pérdida por inserción activa (AIL)

Tabla 8. Valores del promedio de pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Frecuencia (Hz)	AIL Howard Leight Impact Sport (dB)	Desviación AIL
20	-0,36	0.51346
25	1,88666667	0.31346
31,5	3,38833333	0.8167
40	-0,1283333	0.116973
50	2,30166667	1.11343
63	0,02666667	1.31673
80	2,20833334	1.5146
100	-0,79	1.11346
125	0,85	0.31243
160	2,01	1.2146
200	-0,55	1.51349
250	2,81333333	1.91976
315	2,43166667	1.31346
400	6,97166666	2.51243
500	5,44666667	2.3134
630	11,855	3.57946
800	12,5883333	1.2134
1000	8,86166666	1.5465
1250	6,11166667	1.6768
1600	8,5	1.86537
2000	9,575	2.3457
2500	6,76833333	2.2457
3150	3,82166666	2.5436
4000	11,5983333	2.9521
5000	13,0933333	2.1164
6300	1,29	1.3444
8000	0,88833333	0.3124
10000	0,4	0.5356
12500	0,16	0.28956
16000	0,24666667	0.1457
20000	-0,2783333	0.1431

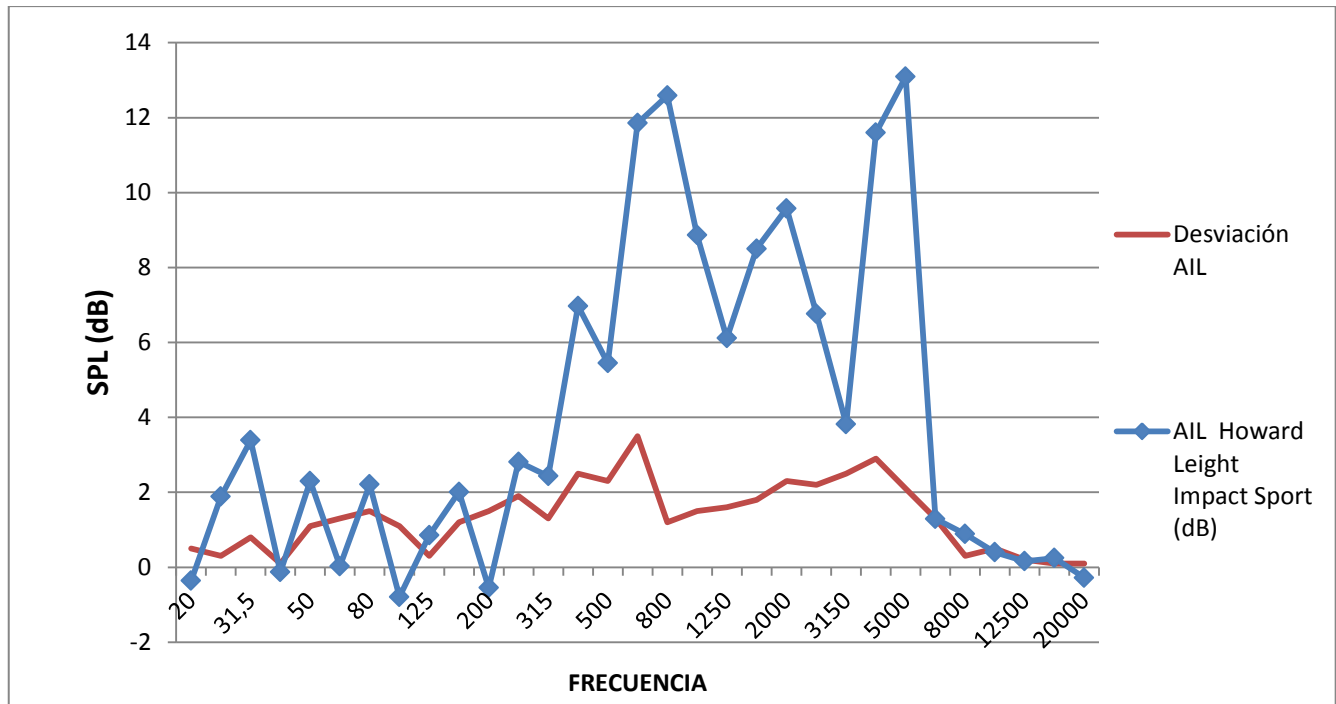


Figura 16. Promedio de pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

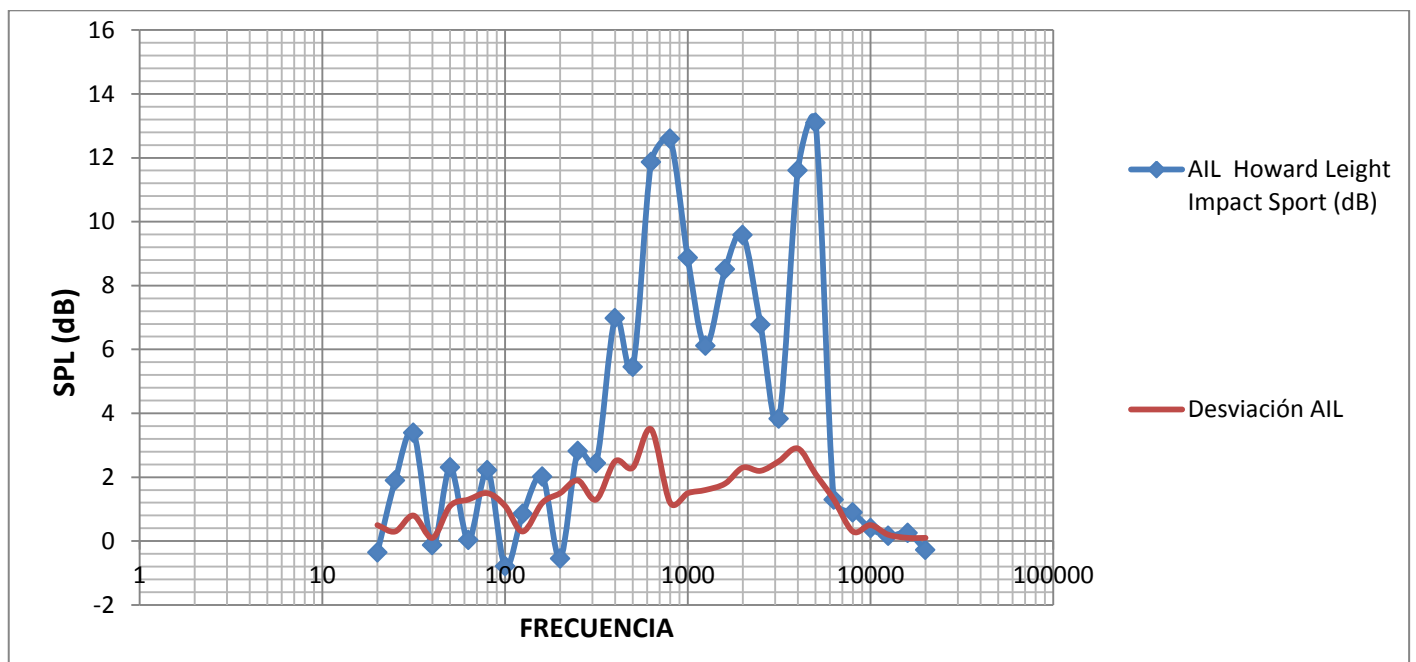


Figura 17. Gráfica Logarítmica del promedio de pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

En las **Figuras 16 y 17** se observa un comportamiento de atenuación acústica activa de los protectores Howard Leight Impact Sport por tercios de octava. Se observan atenuaciones de 2 a 4 dB en frecuencias muy bajas como lo son 31.5 Hz, 50 Hz y 80 Hz. Sin embargo a partir de 250 Hz se observa un crecimiento en la atenuación de frecuencias altas en todo el espectro, aunque en 3150 Hz se observa un bajo desempeño. La mayor atenuación se encuentra en 5 KHz con 13 dB.

4.3.2.3 MEDICIÓN DE LA PÉRDIDA POR INSERCIÓN TOTAL (TIL)

Tabla 9. Valores del promedio de pérdida por inserción total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Frecuencia (Hz)	TIL Howard Leight Impact Sport (dB)	Desviación TIL
20	3,91333333	0.63424
25	4,73166667	0.5214
31,5	3,615	0.71572
40	0,405	0.34673
50	1,16166667	1.113467
63	-0,8683333	1.54259
80	-0,2508333	1.39768
100	-4,0191667	1.71457
125	-6,1883333	1.74673
160	-3,675	2.24273
200	-2,0483333	2.24273
250	9,33083333	2.3476
315	10,6675	2.51579
400	17,5308333	2.2427
500	20,0216667	2.41976
630	26,9558333	2.6437
800	29,5116667	2.447
1000	27,8283333	1.81243
1250	25,3566667	1.649764
1600	27,8183333	1.5437
2000	29,0158333	1.91542
2500	27,6075	2.1124
3150	29,0708333	2.2784
4000	33,7275	1.5976
5000	35,4383333	1.34572
6300	27,9633333	1.12346
8000	30,4475	0.51346
10000	29,8008333	0.59764
12500	30,4991667	0.446752
16000	14,3466667	0.35346
20000	2,01	0.1467

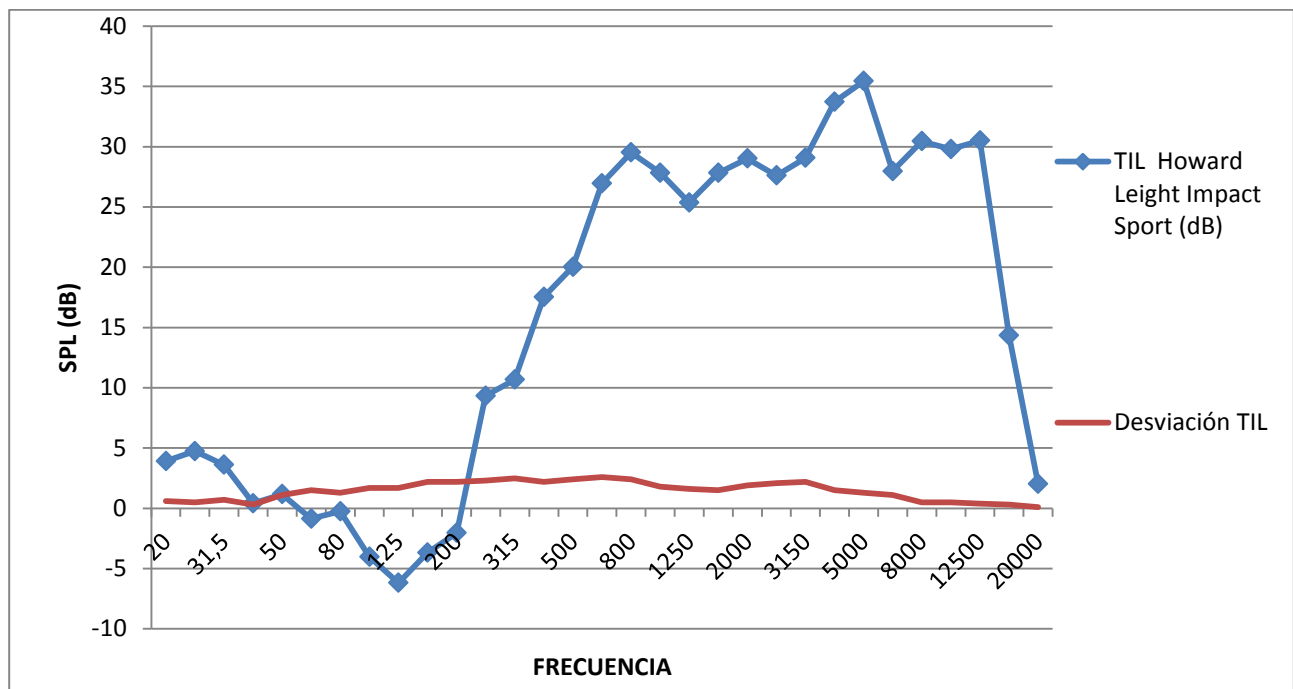


Figura 18. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

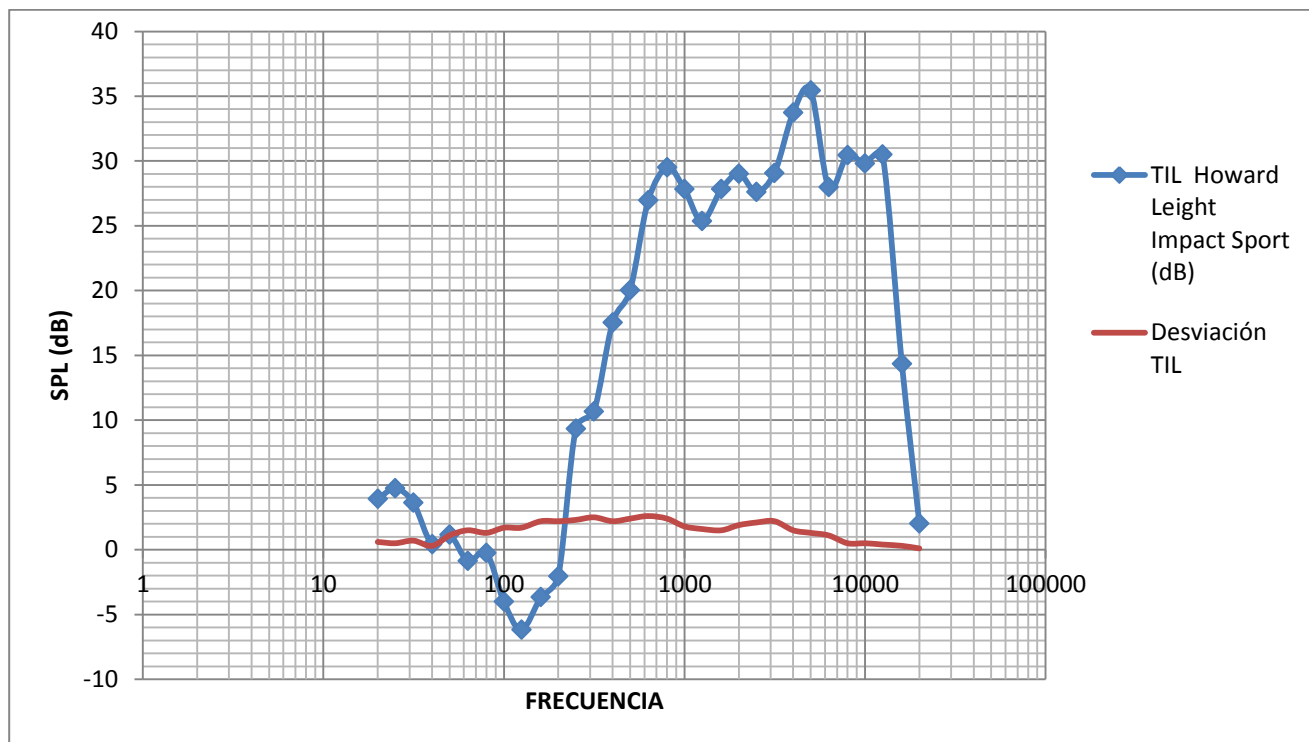


Figura 19. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

En las **Figuras 18 y 19** se observa un comportamiento de atenuación acústica total de los protectores Howard Leight Impact Sport por tercios de octava. A partir de 250 Hz se observa un incremento en todo el espectro atenuando frecuencias medias altas de forma efectiva. En 5 KHz alcanza su máximo nivel de atenuación total con 35 dB. Se observan valores negativos entre 63 y 200 Hz. Lo que indica que el sistema retroalimenta dentro del ATF éstas frecuencias bajas. En 4.5.1.4 Se realiza un análisis detallado comparando los tres dispositivos en sus tres parámetros de evaluación.

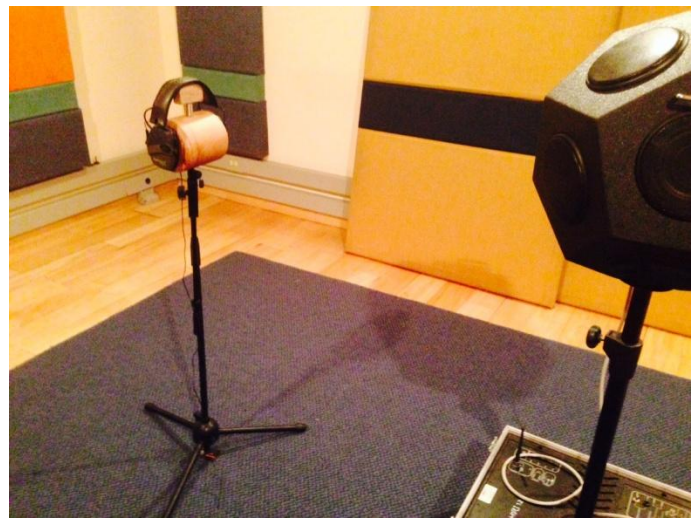


Figura 20. Medición del Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport usando el método del ATF.

4.3.3 PELTOR SPORTTAC HEARING PROTECTOR

4.3.3.1 Medición de la pérdida por inserción pasiva (PIL)

En las **Figuras 21 y 22** se observa un comportamiento de atenuación acústica pasiva de los protectores Peltor SportTac Hearing por tercios de octava. A partir de 250 Hz se observa un incremento en todo el espectro atenuando frecuencias medias altas de forma efectiva. En 4 KHz alcanza su máximo nivel de atenuación total con 27 dB. Se observan valores negativos entre 40 y 200 Hz. Lo que indica que el sistema retroalimenta dentro del ATF éstas frecuencias bajas.

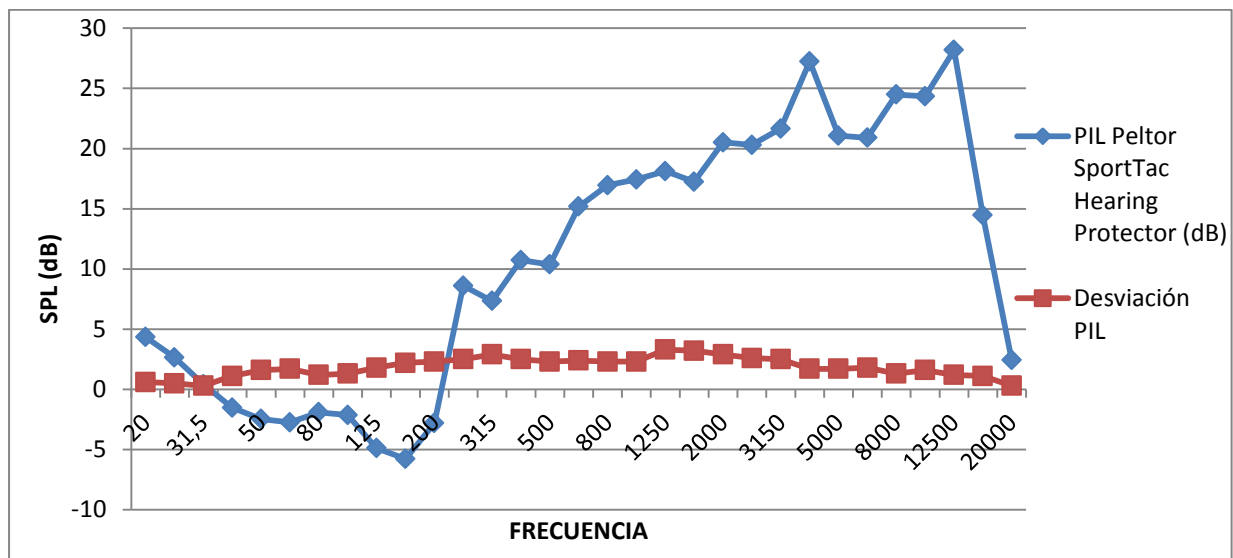


Figura 21. Promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

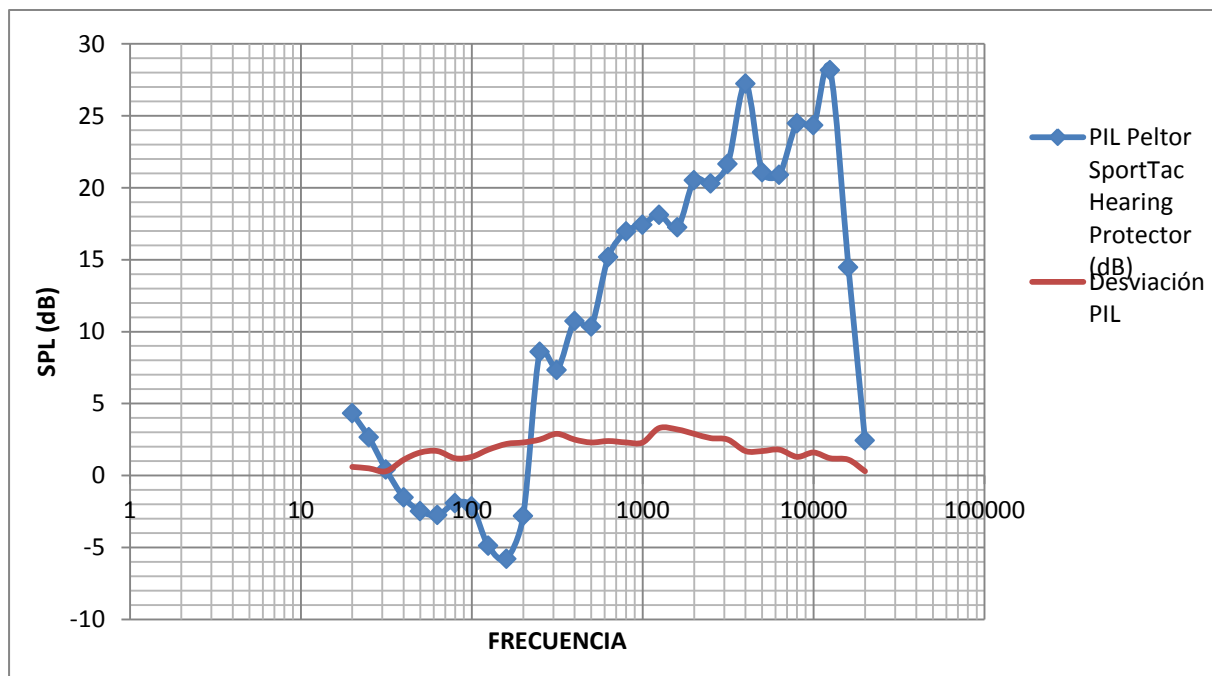


Figura 22. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Peltor SportTac Hearing Protector por tercios de octava.

Tabla 10. Valores del promedio de pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing.

Frecuencia (Hz)	PIL Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	Desviación PIL
20	4,335	0.63417
25	2,65333333	0.53467
31,5	0,42166667	0.35427
40	-1,5266667	1.14672
50	-2,465	1.632157
63	-2,745	1.71247
80	-1,9108333	1.21376
100	-2,1358333	1.38724
125	-4,8866667	1.821.7
160	-5,7833333	2.23167
200	-2,8166667	2.31572
250	8,60916667	2.51673
315	7,33416667	2.9975
400	10,7308333	2.55673
500	10,3666667	2.3171
630	15,1825	2.4124
800	16,9533333	2.3124
1000	17,435	2.3463
1250	18,1183333	3.3346
1600	17,2416667	3.23164
2000	20,5191667	2.91346
2500	20,3008333	2.61542
3150	21,6525	2.52154
4000	27,2341667	1.71542
5000	21,0666667	1.7124
6300	20,8983333	1.8124
18000	24,4858333	1.35437
10000	24,3358333	1.61246
12500	28,1775	1.24673
16000	14,465	1.13764
20000	2,43666667	0.3132

4.3.3.2 Medición de la pérdida por inserción activa (AIL)

En las **Figuras 23 y 24** se observa un comportamiento de atenuación acústica activa de los protectores Peltor SportTac Hearing por tercios de octava. Se observan atenuaciones 2.8 dB en frecuencias muy bajas como lo es 40 Hz. Sin embargo a partir de 80 Hz y 125 Hz se observa valores negativos en la atenuación de frecuencias bajas. A partir de 160 Hz se observa atenuación acústica en todo el espectro de frecuencias obteniendo su máximo nivel de atenuación activo en 5KHz a con 18.42 dB.

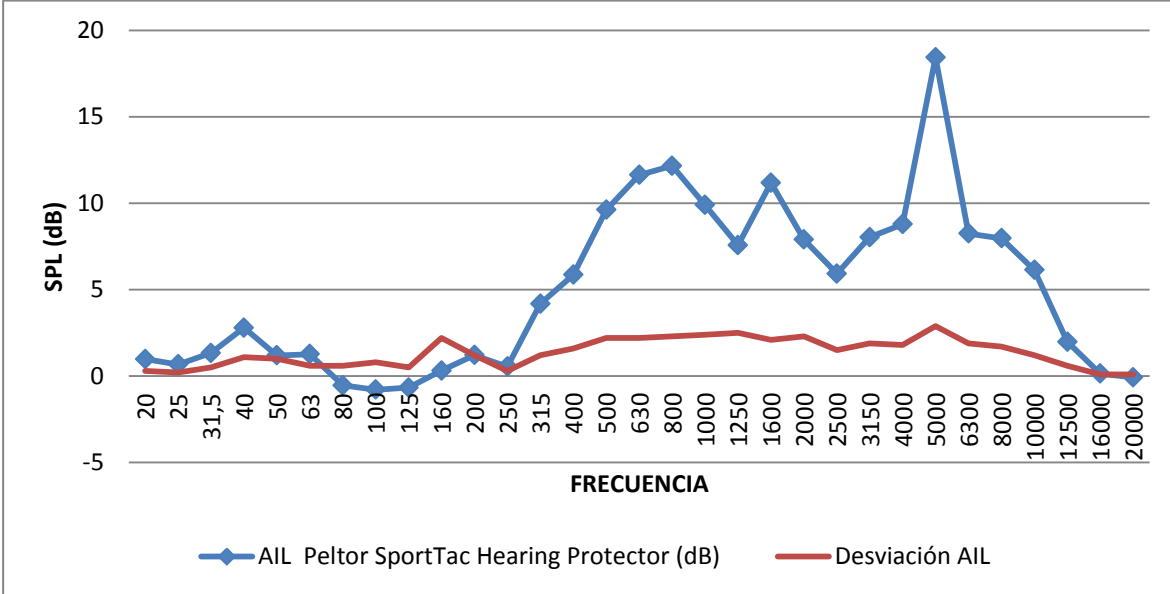


Figura 23. Promedio de la pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

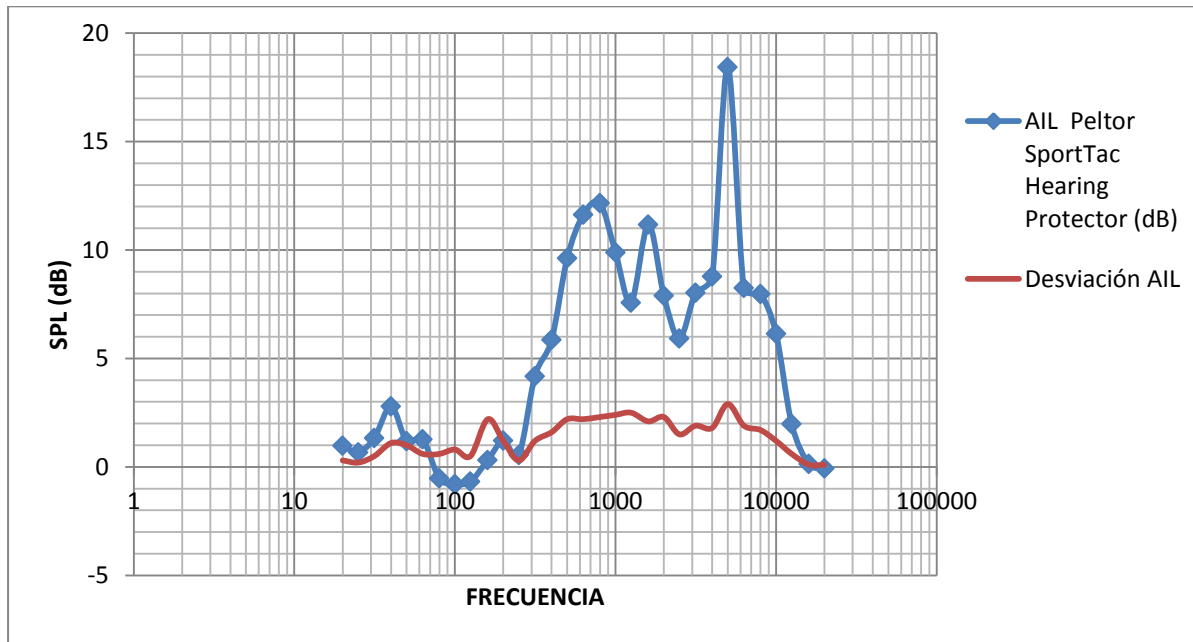


Figura 24. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Peltor SportTac Hearing Protector por tercios de octava.

Tabla 11. Valores del promedio de pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing.

Frecuencia (Hz)	AIL Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	Desviación AIL
20	0,97666667	0.3732
25	0,67333334	0.21296
31,5	1,335	0.53.67
40	2,79666667	1.13546
50	1,19	1.5648
63	1,26833333	0.6371
80	-0,53333333	0.6251
100	-0,7883333	0.8287
125	-0,6683333	0.57653
160	0,315	2.27383
200	1,21166667	1.2827
250	0,54666666	0.3723
315	4,185	1.2796
400	5,855	1.698
500	9,61666666	5.23541
630	11,6283333	5.2752
800	12,1566667	4.3525
1000	9,89	3.452
1250	7,57166667	2.5752
1600	11,175	2.1752
2000	7,89333333	2.3693
2500	5,92	1.5789
3150	8,035	1.9156
4000	8,78166666	1.8346
5000	18,4283333	2.95437
6300	8,24833334	1.91576
8000	7,97	1.71346
10000	6,13666667	1.231672
12500	1,97833333	0.68457
16000	0,13666667	0.16497
20000	-0,075	0.19437

4.3.3.3 Medición de la pérdida por inserción total (TIL)

En las **Figuras 25 y 26** se observa un comportamiento de atenuación acústica total de los protectores Peltor SportTac Hearing por tercios de octava. No se observan valores negativos en todo el espectro de frecuencias a excepción de 100 y 125 Hz aunque son valores muy bajos. Esto demuestra un buen comportamiento del sistema total en frecuencias bajas. A partir de 250 Hz se observa un incremento en todo el espectro atenuando frecuencias medias altas de forma efectiva. En 5 KHz alcanza su máximo nivel de atenuación total con 39 dB. En 4.5.1.4 Se realiza un análisis detallado comparando los tres dispositivos en sus tres parámetros de evaluación.

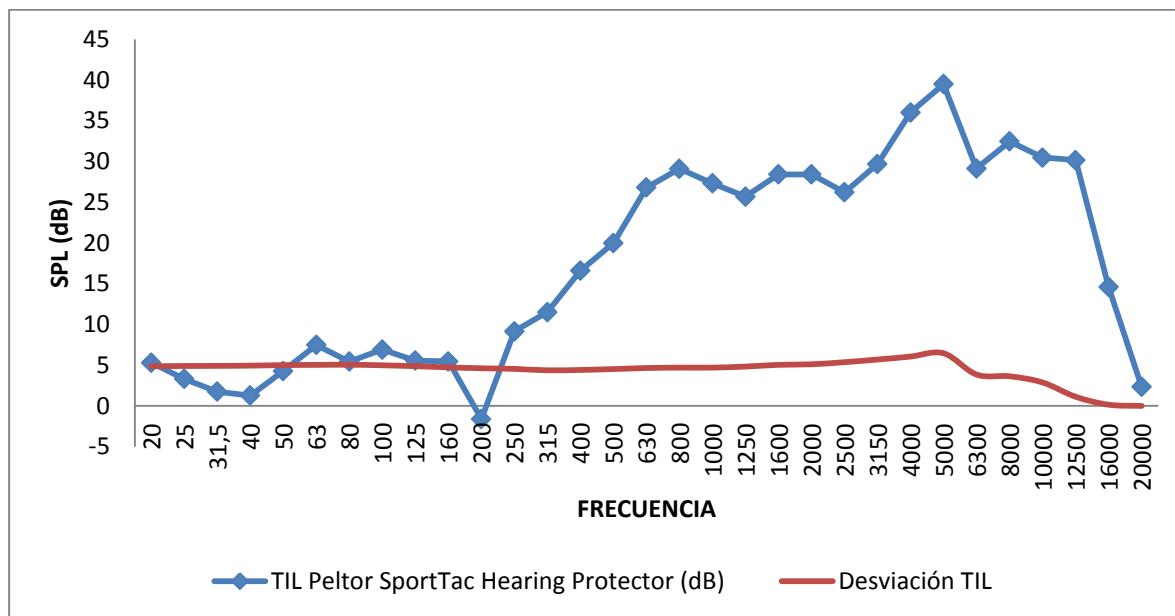


Figura 25. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

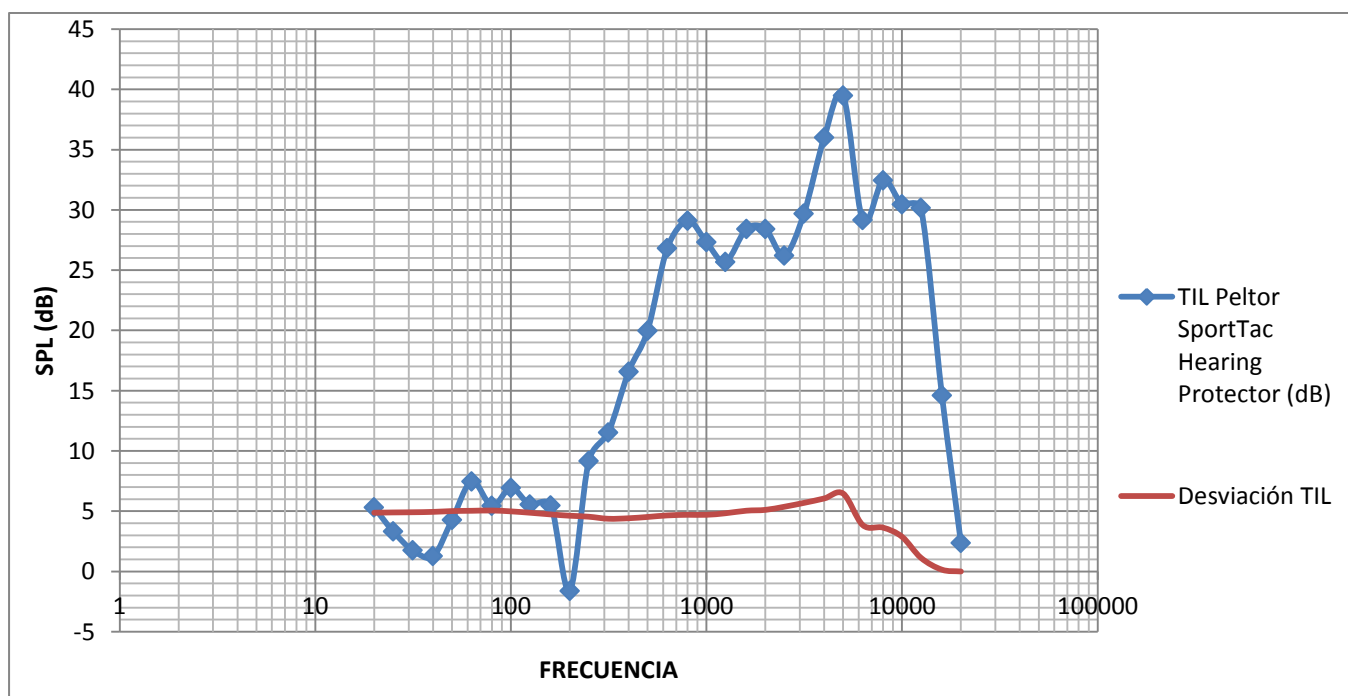


Figura 26. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

Tabla 12. Valores del promedio de pérdida por inserción total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing.

Frecuencia (Hz)	TIL Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	Desviación TIL
20	5,31166667	4,87424976
25	3,32666667	4,90013456
31,5	1,75666667	4,91388081
40	1,27	4,94500213
50	4,275	5,01255109
63	7,47666667	5,03633999
80	5,44416667	5,05864314
100	6,92416667	4,98715423
125	5,555	4,87427271
160	5,46833333	4,73399321
200	-1,605	4,62487949
250	9,15583333	4,54476044
315	11,5191667	4,37403001
400	16,5858333	4,41678095
500	19,9833333	4,52361936
630	26,8108333	4,65137597
800	29,11	4,70136893
1000	27,325	4,70150678
1250	25,69	4,831202
1600	28,4166667	5,04378302
2000	28,4125	5,11171168
2500	26,2208333	5,37142739
3150	29,6875	5,69232652
4000	36,0158333	6,05910557
5000	39,495	6,46502534
6300	29,1466667	3,84621065
8000	32,4558333	3,63918653
10000	30,4725	2,87994872
12500	30,1558333	1,12935945
16000	14,6016667	0,14967094
20000	2,36166667	0,56382258



Figura 27. Medición del Protector Peltor SportTac Hearing usando el método del ATF.

4.3.4 PROTECTOR PELTOR TACTICAL PRO

4.3.4.1 Medición de la pérdida por inserción pasiva (PIL)

En las **Figuras 28 y 29** se observa un comportamiento de atenuación acústica pasiva de los protectores Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava. A partir de 160 Hz se observa un incremento en todo el espectro atenuando frecuencias medias altas de forma efectiva. En 8 KHz alcanza su máximo nivel de atenuación total con 29 dB. Se observan valores negativos entre 31.5 y 125 Hz. Lo que indica que el sistema retroalimenta dentro del ATF éstas frecuencias bajas.

Tabla 13. Valores del promedio de pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Frecuencia (Hz)	PIL Peltor Tactical Pro Headsets (dB)	Desviación PIL
20	3,526667	1.2654
25	1,103333	1.66761
31,5	-1,673333	2.2546
40	-1,941667	2.2289
50	-1,213333	2.3745
63	-3,911667	3.5546
80	-4,544167	2.9546
100	-3,635833	1.2654
125	-2,206667	1.6654
160	3,098333	2.1159
200	4,741667	2.2753
250	12,979167	2.2519
315	11,855833	2.237
400	15,240833	2.816
500	16,033333	2.66
630	19,4175	2.1654
800	22,966667	2.374
1000	26,43	1.5654
1250	26,503333	1.6152
1600	28,591667	1.855
2000	28,415833	1.846
2500	20,739167	1.2246
3150	11,784167	0.96
4000	14,4425	1.165
5000	21,066667	1.254
6300	21,956667	1.246
8000	29,785833	1.5987
10000	28,9625	1.155
12500	28,7925	1.5654
16000	14,648333	1.1149
20000	2,323333	0.3368

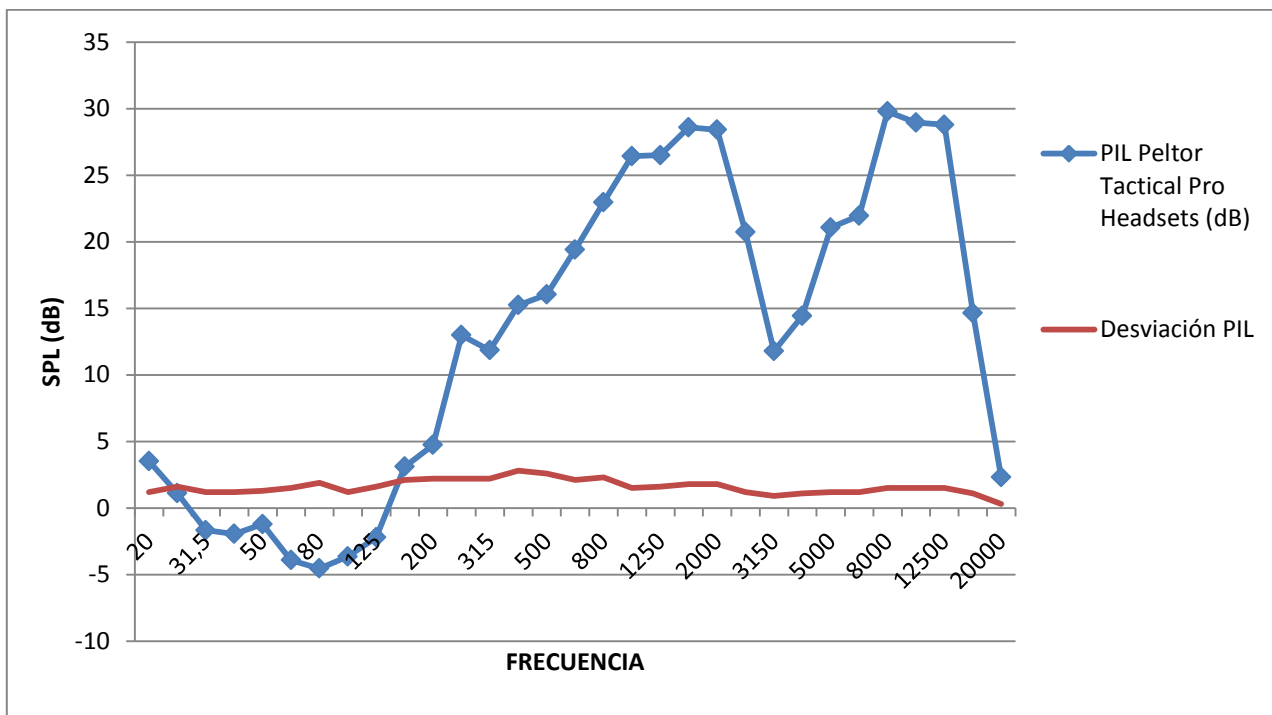


Figura 28. Promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

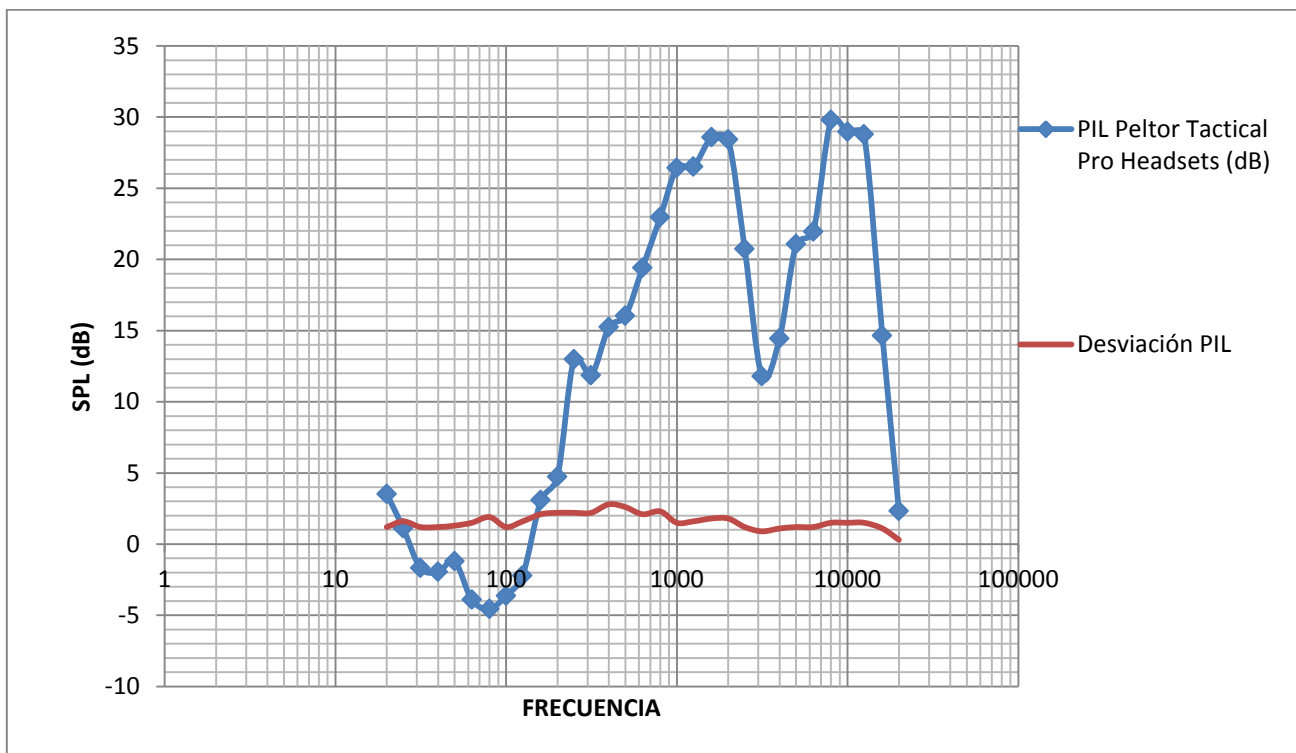


Figura 29. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

4.3.4.2 Medición de la pérdida por inserción activa (AIL)

En las **Figuras 30 y 31** se observa un comportamiento de atenuación acústica activa de los protectores Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava. Se observan atenuaciones de 9.3 dB en frecuencias muy bajas como lo es 31.5 Hz demostrando gran efectividad en cancelación de bajas frecuencias. Sin embargo en 160 Hz y 1250 Hz se observa valores negativos en la atenuación de nivel de presión sonora afectando su desempeño activo en frecuencias medias altas. Se obtiene su máximo nivel de atenuación activo en 4KHz a con 20.91 dB.

Tabla 14. Valores del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Frecuencia (Hz)	AIL Peltor Tactical Pro Headsets (dB)	Desviación AIL
20	2,95499967	0.6467
25	2,30000033	0.5157
31,5	9,33999967	0.9249
40	8,28333367	0.9356
50	1,40999967	0.1457
63	0,54000033	0.1422
80	8,046667	0.8231
100	0,13999967	0.1467
125	0,851667	0.3528
160	-0,5299997	0.5864
200	1,42999967	1.2431
250	3,633333	1.3234
315	5,42500033	1.5986
400	8,07833367	1.8356
500	11,8900003	2.1597
630	16,855	2.2524
800	9,603333	2.1134
1000	1,24	0.8124
1250	-0,2949997	0.1467
1600	0,863333	0.6798
2000	1,58000033	0.8167
2500	5,83166633	1.2134
3150	16,6699997	2.1134
4000	20,9116667	2.3154
5000	17,4666663	2.2467
6300	5,52166633	1.2451
8000	1,35333367	0.8159
10000	0,05	0.1376
12500	-0,0166667	0.1679
16000	-0,2249997	0.1894
20000	-0,168333	0.1649

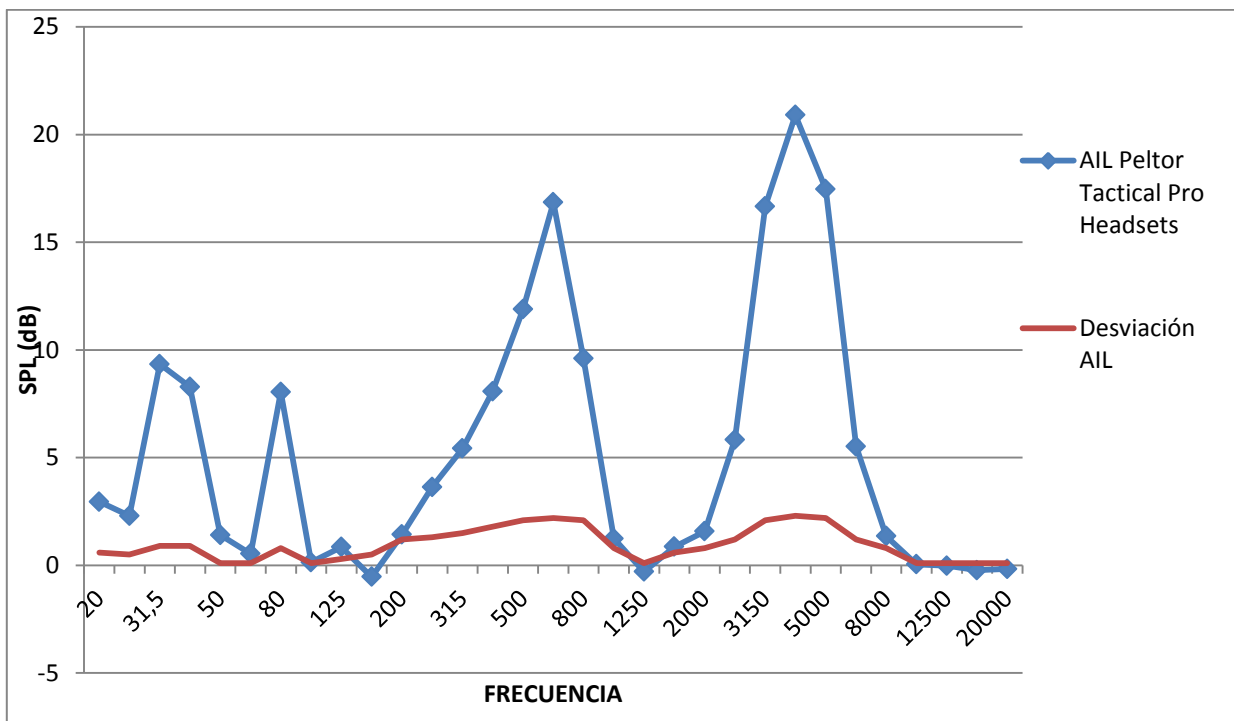


Figura 30. Promedio de la pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

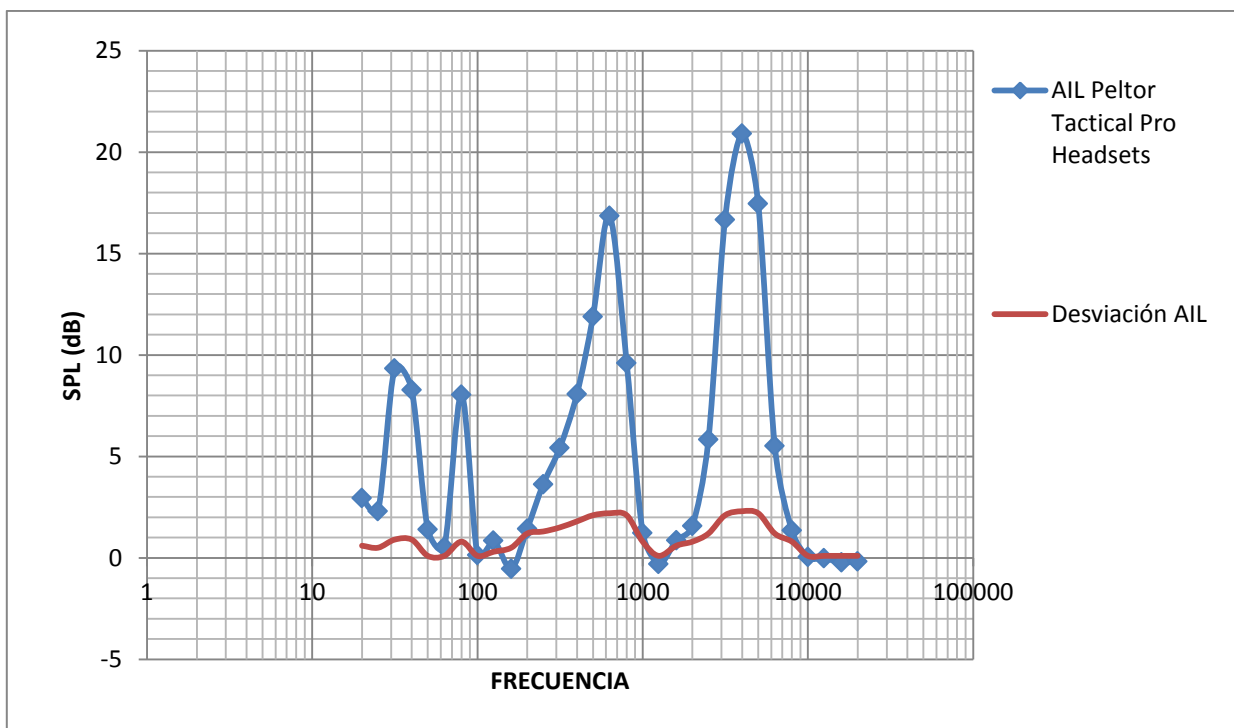


Figura 31. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

4.3.4.3 Medición de la pérdida por inserción total (TIL)

En las **Figuras 32 y 33** se observa un comportamiento de atenuación acústica total de los protectores Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava. No se observan valores negativos en todo el espectro de frecuencias a excepción de 63, 100 y 125 con valores de hasta -3 dB. Esto demuestra un buen comportamiento del sistema total en frecuencias bajas comprendidas entre 20 y 40 Hz. A partir de 160 Hz se observa un incremento en todo el espectro atenuando frecuencias medias altas de forma efectiva. En 5 KHz alcanza su máximo nivel de atenuación total con 38 dB.

Tabla 15. Valores del promedio de pérdida por inserción total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Frecuencia (Hz)	TIL Peltor Tactical Pro Headsets (dB)	Desviación TIL
20	6,48166667	1.664
25	3,40333333	2.1213
31,5	7,66666667	2.5647
40	6,34166667	2.6754
50	0,19666667	2.8455
63	-3,37166667	2.9246
80	3,5025	2.8289
100	-3,49583333	2.8542
125	-1,355	1.9316
160	2,56833333	1.5572
200	6,17166667	2.6146
250	16,6125	2.9848
315	17,28083333	2.9346
400	23,3191667	3.2156
500	27,92333333	3.6366
630	36,2725	4.1157
800	32,57	3.9456
1000	27,67	2.6402
1250	26,20833333	2.6056
1600	29,455	2.7985
2000	29,99583333	2.7143
2500	26,57083333	2.6367
3150	28,4541667	2.742
4000	35,3541667	2.8105
5000	38,53333333	3.21
6300	27,47833333	2.8695
8000	31,1391667	2.6354
10000	29,0125	3
12500	28,77583333	2.8124
16000	14,42333333	1.5142
20000	2,155	0.6157

En 4.5.1.4 Se realiza un análisis detallado comparando los tres dispositivos en sus tres parámetros de evaluación.

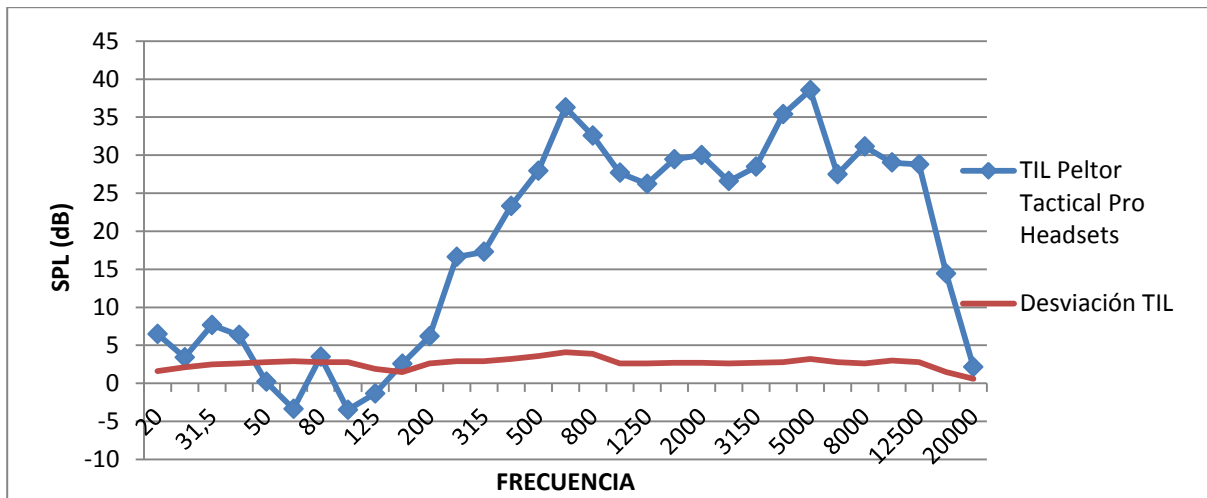


Figura 32. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

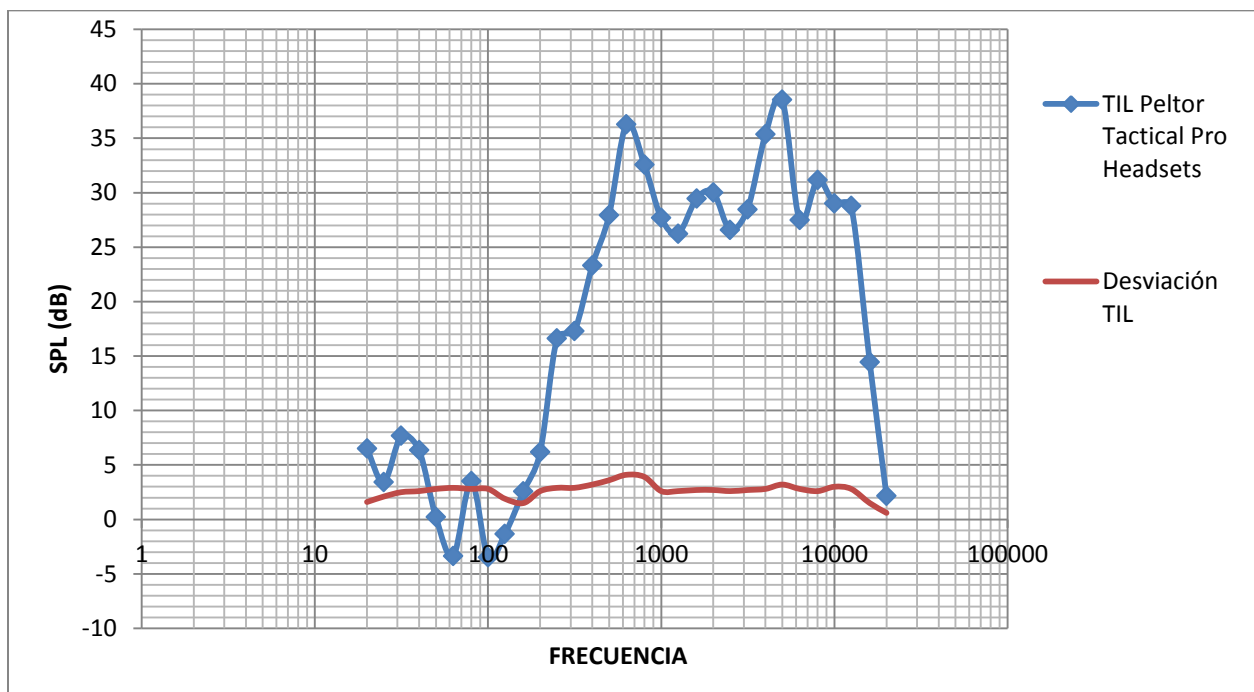


Figura 33. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.



Figura 34. Medición del Protector Peltor Tactical Pro Headset usando el método del ATF en el estudio C de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.

4.4 MEDICIÓN DEL HELICOPTERO Modelo Hughes 500

Los datos del Directorio Internacional de Aviación Civil

- Tripulación: 1-2
- Capacidad: 5 en total
- Longitud: 30 pies 10 pulgadas (9,4 m)
- Diámetro del rotor: 26 pies 4 pulgadas (8.03 m)
- Altura: 8 pies 2 pulgadas (2,48 m)
- Peso en vacío: 1.088 libras (493 kg)
- Peso máximo al despegue: 2.250 libras (1.157 kg)
- Planta motriz: 1 × Allison 250-C20 turbo eje, 278 CV (207 kW)

Rendimiento

- Velocidad máxima: 152 nudos (175 mph, 282 km / h)
- Velocidad de crucero: 125 nudos (144 mph, 232 km / h)
- Rango: 375 millas (605 km)
- Techo de servicio: 16.000 pies (4.875 m)
- Velocidad de subida: 1.700 ft / min (8,6 m / s)



Figura 35. Helicóptero HK-2331, modelo Hughes 500, empresa SADI, Base Aérea de Guaymaral, Bogotá.

4.4.1 MEDICIÓN DENTRO DE LA CABINA

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4653. Acústica - DIRECTRICES PARA LA MEDICIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO EN AMBIENTES DE TRABAJO.

Con ésta norma se define:

- TIPO Y UBICACIÓN PARA LAS MEDICIONES
- TIEMPO DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE FRECUENCIA
- CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DEL RUIDO A CONSIDERAR

4.4.1.1 GENERALIDADES:

- Principales mediciones: L_{aeq} y exposición acústica –A

- mediciones adicionales: L_{pico} , L_{apico} , L_{cpico} - En algunos casos se deben hacer mediciones por 1/8 o 1/3's de oct. En bandas audibles, infrasonidos, ultrasonidos, SIL y la relación S/N

4.4.1.2 UBICACIÓN

Para personas sentadas, se debe ubicar a 0.91m (+/- 0.05) sobre el asiento. La posición del micrófono depende de las instrucciones del fabricante o en su defecto, en la misma dirección a la visión de la persona.

- En la zona de pasajeros bajo el rotor principal.
- Entre los pilotos, en la cabina, asiento frontal de la transmisión

4.4.1.3 TIEMPO DE MEDICIÓN

El intervalo se escoge para contemplar todas las fluctuaciones. Además, la escogencia del T_n debe ser coherente con la repetición de tales cambios. La duración mínima es 15s.

El equipo de comunicación se proporcionará para el habla bajo condiciones anormales. Los objetivos son prevenir la fatiga minimizando el ruido permanente que induce la pérdida de la audición y el cambio continuo del umbral de ruido temporal medio ambiental de la cabina del piloto. La medición debe realizarse a la altura de los ojos del piloto y dicho valor no debería exceder los 85 db. Los picos de ruido de hasta 93 db se pueden tolerar, así como los períodos acumulados de no más de 30 minutos por jornada de trabajo.

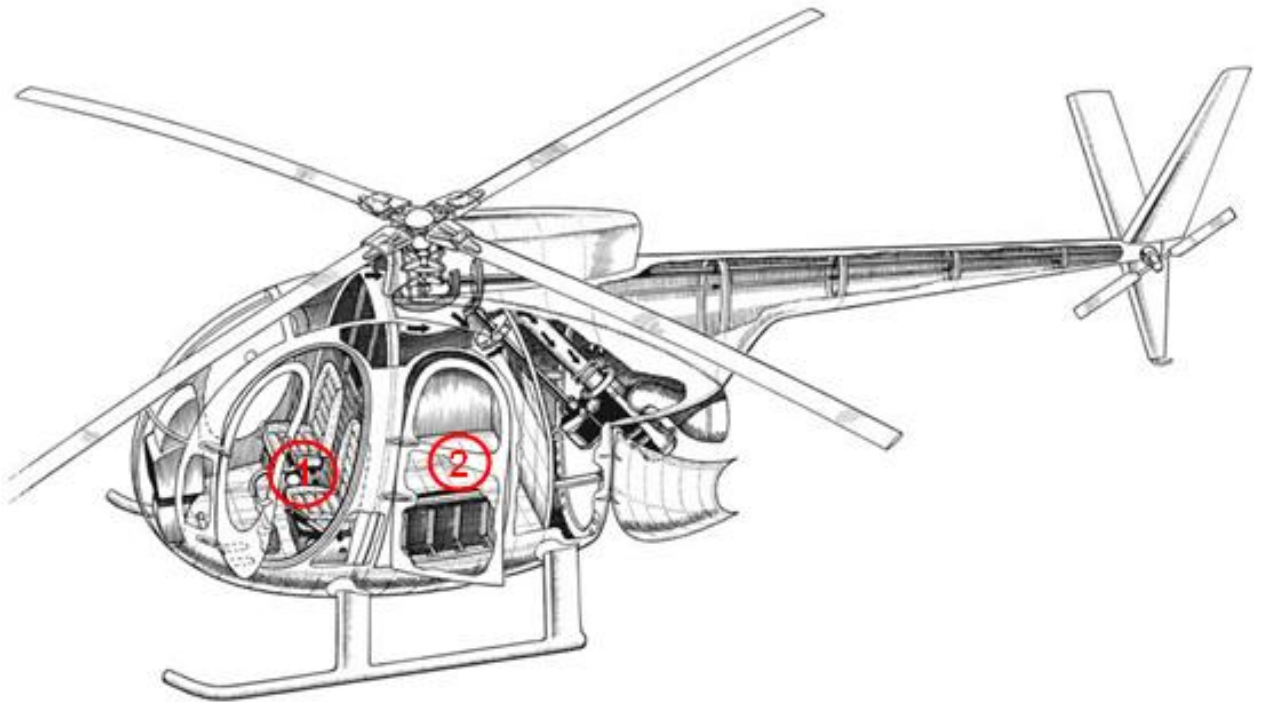


Figura 36. Puntos de medición dentro de la cabina del Hughes 500. 1-) En la mitad del piloto y copiloto; 2-) En la zona de pasajeros bajo el rotor principal.

Condiciones de medición:

- Tiempo de Vuelo: 30 minutos
- Velocidad Max: 220 Km/h
- Velocidad del viento: 15 – 20 Km/h
- Humedad relativa: 49%
- Ráfagas de viento: 18 km/h
- Estado del cielo: Parcialmente Nublado

Equipo de Medición

- Micrófono de medición (DBX RTA-M)
- ATF (construido según la norma ISO 4869-3:2007)
- Micrófonos de medición (AKG C417)
- Computador con el software SIA SMAART
- Protector auditivo con tecnología CAR x3 (Peltor Tactical Pro, Howard Leight Impact Sport, Peltor Tactical Sport)
- Pistófono
- Interface de audio con preamplificador (Audiobox PreSonus)
- Cables XLR x2

Se realizó independientemente una medición con un micrófono de medición con el fin de determinar el nivel de ruido al cual se está expuesto el piloto, la tripulación y los pasajeros. En el **ANEXO 2** “Resultados medición de niveles SPL promediados dentro de la cabina del Hughes 500” se encuentran los valores promediados por tercio de octava del ruido generado al interior de la cabina. Sin embargo para el análisis de los protectores en la cabina, la medición del ruido se realizó con el ATF.

4.4.2 MEDICIÓN DE LOS PROTECTORES DENTRO DE LA CABINA

Tabla 16. Secuencia Utilizada según norma ANSI/ASA S12.42: “ACAC”
(Abierto Cerrado, Abierto Cerrado)

a.	La medición sin protectores, Lo.
b.	Colocar el protector en el ATF.
c.	Período de espera de 120 ± 5 s después del ajuste final.
d.	Medición pasiva con el dispositivo apagado, Lcoff.
e.	Encender el Control Activo de Ruido.
f.	Esperar 10 s (o más si así lo especifica el solicitante), con el ruido de prueba encendido.
g.	Medición del protector con control activo de ruido encendido, Lcon
h.	Apagar el Control Activo de Ruido y retire el protector auditivo del ATF.

3 Repeticiones por protector y por lado (Izquierdo y Derecho)

Los parámetros a analizar corresponden a los mismos de las mediciones realizadas en el estudio C de la universidad de San Buenaventura, es decir se busca observar la atenuación acústica a partir de **PIL, AIL y TIL**.

4.4.2.1 Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport

4.4.2.1.1 Medición de la pérdida por inserción pasiva dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (PIL2)

En las **Figuras 37 y 38** se observa un comportamiento de atenuación acústica pasiva de los protectores Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava dentro de la cabina del helicóptero. No se obtuvieron resultados negativos lo cual demuestra su gran efectividad atenuando el SPL generado en todo el espectro de frecuencias. En 10 KHz alcanza su máximo nivel de atenuación total con 43 dB. En la frecuencia central del motor del helicóptero ubicada en 40 Hz se logra una atenuación de 13 dB

Tabla 17. Valores del promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Frecuencia (Hz)	PIL2 Howard Leight Impact Sport (dB)	Desviación PIL2
20	9,17583333	2.31542
25	10,6858333	2.51246
31,5	10,8183333	2.678491
40	13,0033333	2.51243
50	10,885	2.41243
63	12,5508333	2.24875
80	7,1275	2.21643
100	6,44333333	2.31346
125	6,81083333	2.2124
160	12,2841667	2.1437
200	16,1166667	3.2976
250	17,8591667	2.9457
315	21,2575	3.1127
400	24,1566667	3.2467
500	26,975	3.5134
630	27,9883333	3.2437
800	28,3475	2.9197
1000	28,535	2.5456
1250	30,135	2.4124
1600	28,995	2.4467
2000	31,4008333	2.4134
2500	31,4216667	2.5879
3150	36,0575	2.3497
4000	31,3308333	2.1467
5000	36,2241667	1.9437
6300	38,685	2.615
8000	41,5033333	3.2191
10000	43,4908333	3.1548
12500	41,35	3.278
16000	39,3491667	4.2025
20000	30,5458333	3.2135

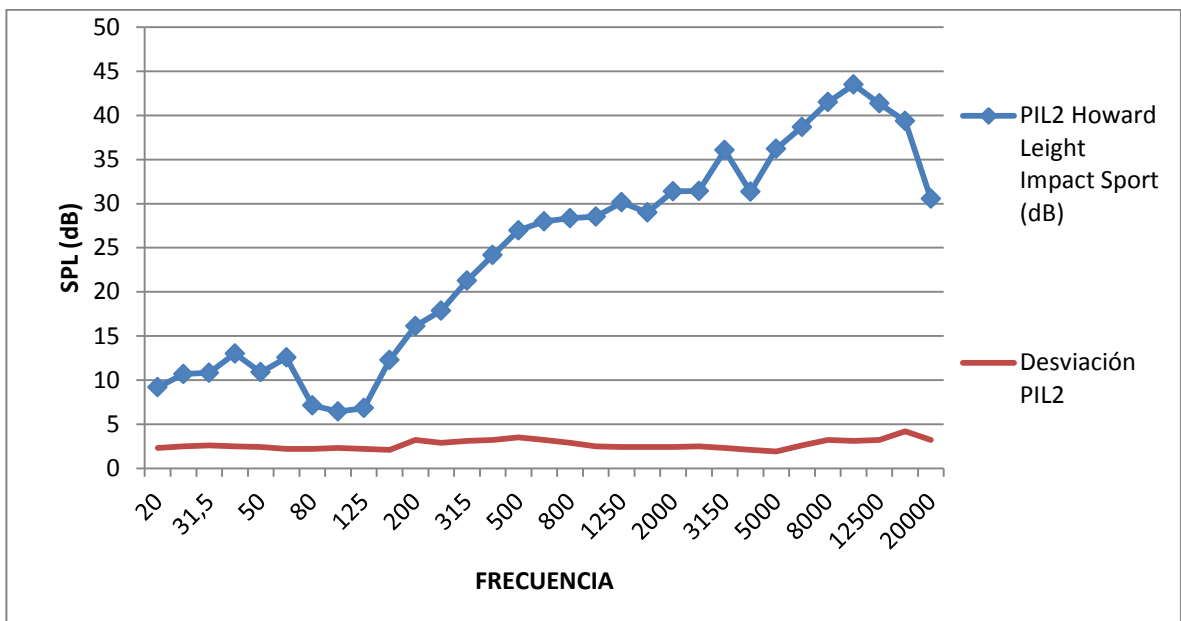


Figura 37. Promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

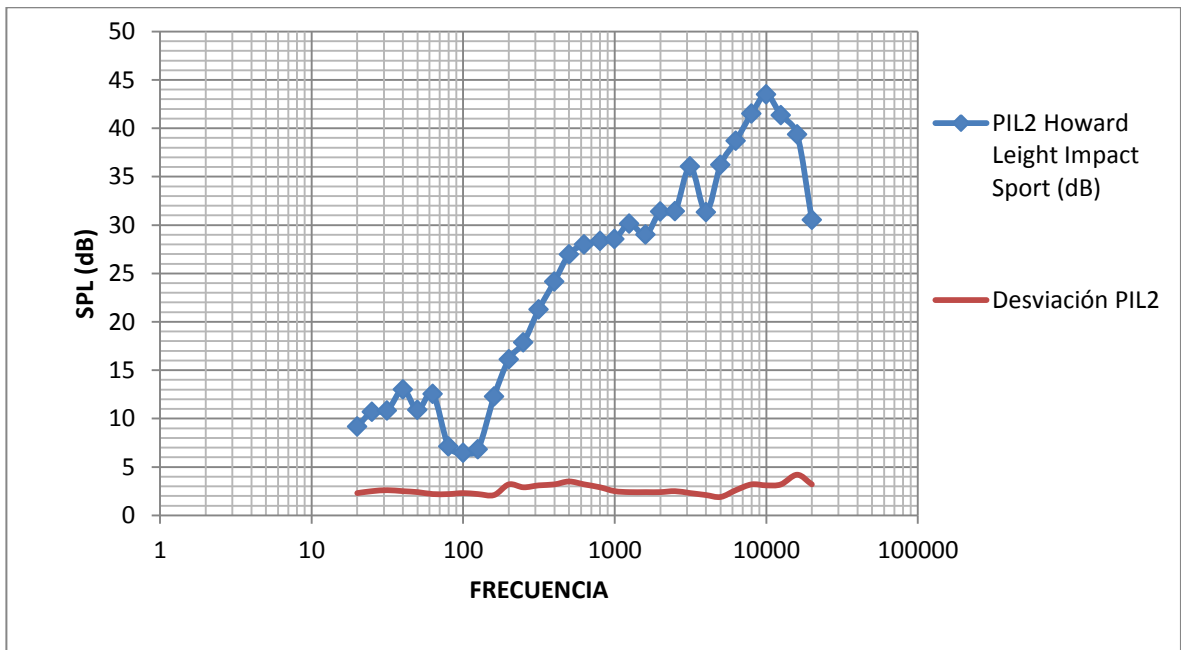


Figura 38. Gráfica Logarítmica del promedio de Pérdida por Inserción Pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

4.4.2.1.2 Medición de la pérdida por inserción activa dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (AIL2)

Tabla 18. Valores del promedio de pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Frecuencia (Hz)	AIL2 Howard Leight Impact Sport (dB)	Desviación AIL2
20	2,11666667	1.5134
25	-0,0216667	0.5197
31,5	-0,5183333	0.2167
40	3,99166667	1.2134
50	0,76166667	0.6467
63	-1,1483333	1.2976
80	0,54	0.3134
100	3,54166667	1.5167
125	-0,2383333	0.6197
160	-1,1916667	1.1467
200	1,11333333	1.2134
250	3,75083333	2.1649
315	6,385	2.5346
400	8,78083333	2.5001
500	14,2925	3.1164
630	11,7641667	2.9497
800	9,02666667	1.8463
1000	7,39166667	1.8134
1250	7,62333333	1.8164
1600	9,94166667	1.8794
2000	8,97	1.7124
2500	4,15666667	1.2013
3150	-4,1733333	1.2497
4000	-0,1666667	0.6197
5000	3,76833333	1.6467
6300	-1,07	0.6346
8000	1,65	0.5134
10000	-0,555	0.1879
12500	1,58	0.5134
16000	0,02166667	0.1691
20000	0,26333333	0.1021

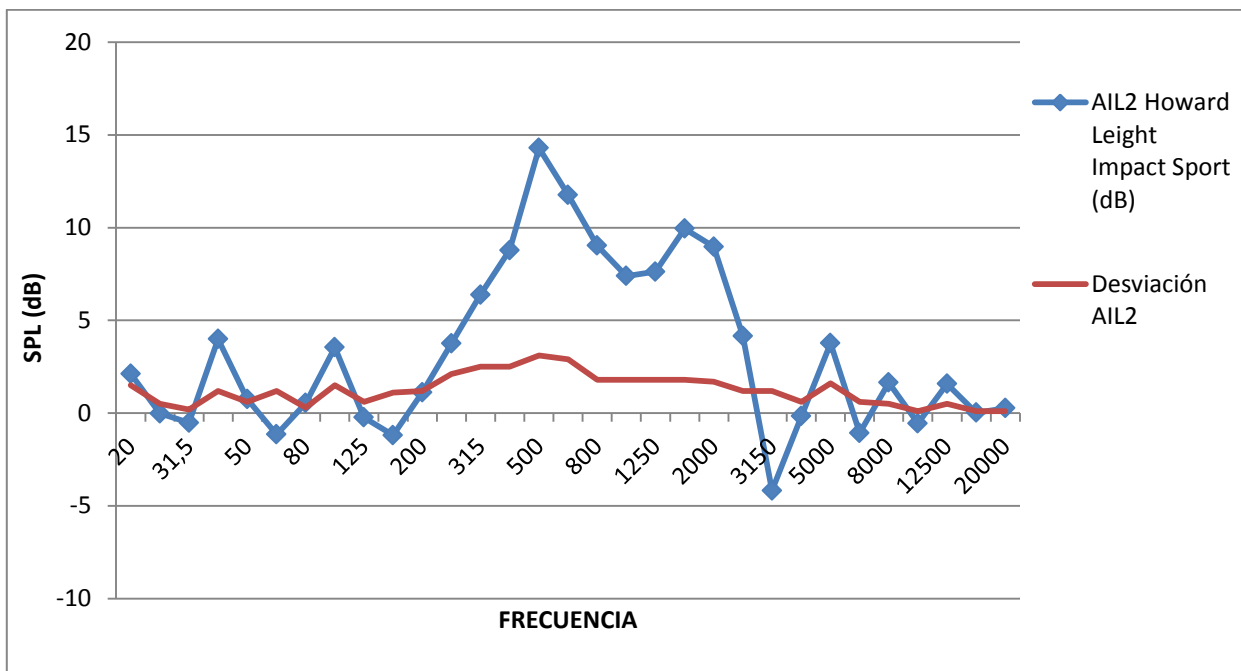


Figura 39. Promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

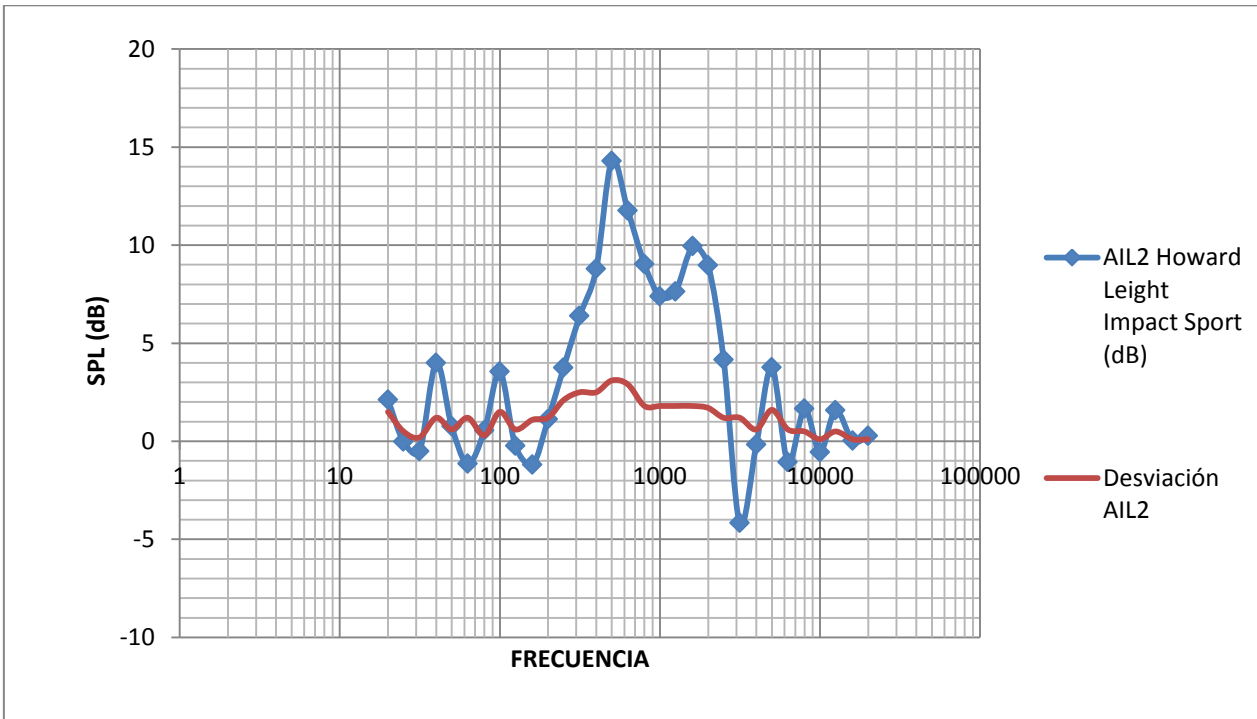


Figura 40. Gráfica Logarítmica del promedio de pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

En las **Figuras 39 y 40** se observa un comportamiento de atenuación acústica activa de los protectores Howard Leight Impact Sport por tercios de octava dentro de la cabina del helicóptero. Se observan atenuaciones 4 dB en la frecuencia central de helicóptero ubicada en 40 Hz. Así mismo es posible observar valores negativos en 31.5Hz, 63 Hz, 125 Hz, 160 Hz, 3150 Hz, 6300Hz y 10000Hz Lo que demuestra cómo afecta por octavas el diseño de construcción y comportamiento del ATF respecto al ruido generado. Sin embargo a partir de 250 Hz se observa un crecimiento en la atenuación de frecuencias altas en todo el espectro, aunque en 3150 Hz se observa un bajo desempeño. La mayor atenuación se encuentra en 630 Hz con 11 dB.

4.4.2.1.3 Medición de la pérdida por inserción total dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (TIL2)

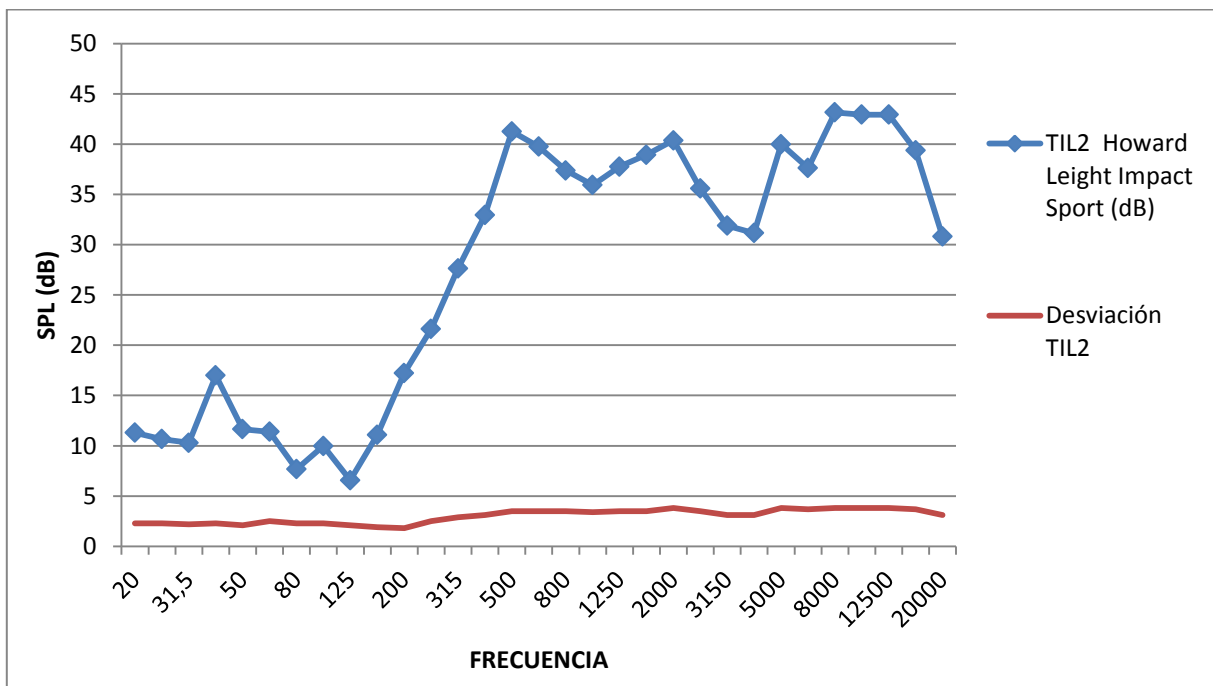


Figura 41. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

En las **Figuras 41 y 42** se observa un comportamiento de atenuación acústica total de los protectores Howard Leight Impact Sport por tercios de octava dentro de la cabina del helicóptero. No se obtuvieron resultados negativos lo cual demuestra su gran efectividad atenuando el SPL generado en todo el espectro de frecuencias. A partir de 250 Hz se observa un incremento en todo el espectro atenuando frecuencias medias altas de forma efectiva. En 8 KHz alcanza su máximo nivel de atenuación total con 43 dB. Se obtuvo una atenuación de 16 dB en la frecuencia central del motor (40 Hz) En 4.5.1.4 Se realiza un análisis detallado comparando los tres dispositivos en sus tres parámetros de evaluación.

Tabla 19. Valores del promedio de pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.

Frecuencia (Hz)	TIL2 Howard Leight Impact Sport (dB)	Desviación TIL2
20	11,2925	2.3124
25	10,6641667	2.3976
31,5	10,3	2.2452
40	16,995	2.3104
50	11,6466667	2.1124
63	11,4025	2.5794
80	7,6675	2.3134
100	9,985	2.3124
125	6,5725	2.1794
160	11,0925	1.9134
200	17,23	1.814
250	21,61	2.5134
315	27,6425	2.9768
400	32,9375	3.1491
500	41,2675	3.5134
630	39,7525	3.5689
800	37,3741667	3.5941
1000	35,9266667	3.4461
1250	37,7583333	3.5235
1600	38,9366667	3.5023
2000	40,3708333	3.8331
2500	35,5783333	3.5316
3150	31,8841667	3.1134
4000	31,1641667	3.1197
5000	39,9925	3.8194
6300	37,615	3.7467
8000	43,1533333	3.8013
10000	42,9358333	3.8059
12500	42,93	3.8452
16000	39,3708333	3.7751
20000	30,8091667	3.1156

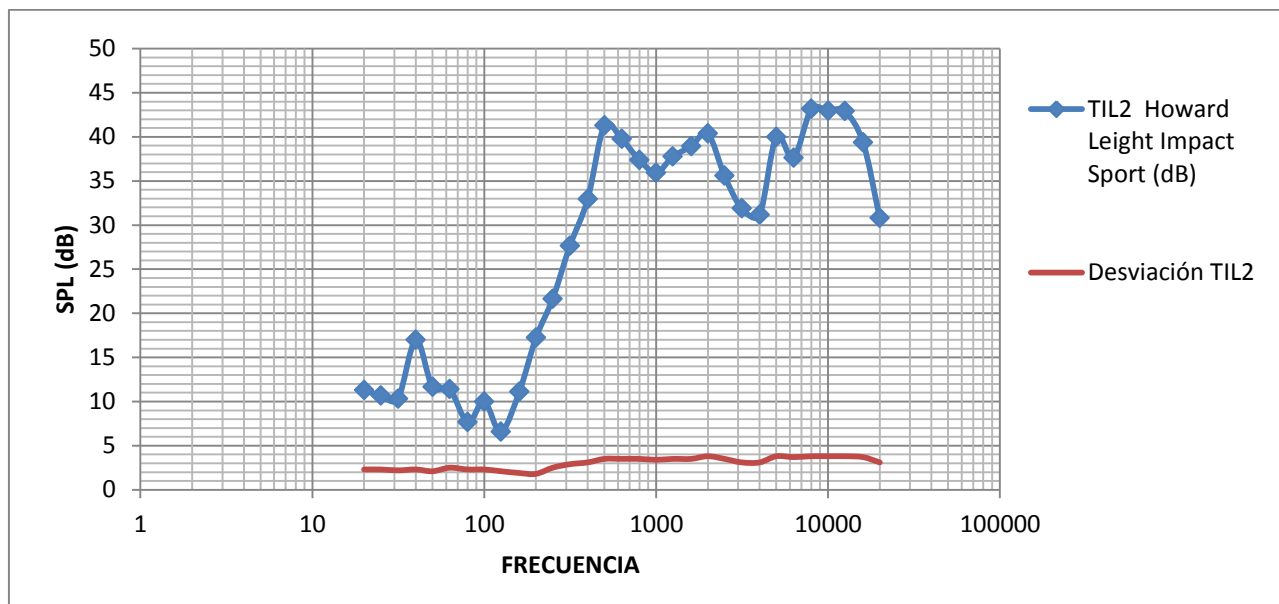


Figura 42. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport por tercios de octava.



Figura 43. Medición del Protector Auditivo Howard Leight Impact Sport usando el método del ATF dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 en vuelo.

4.4.2.2 Peltor SportTac Hearing Protector

4.4.2.2.1 Medición de la pérdida de inserción pasiva dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (PIL2)

Tabla 20. Valores del promedio de pérdida por inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing.

Frecuencia (Hz)	PIL2 Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	Desviación PIL2
20	9,67583333	4,2032
25	10,6608333	3.5134
31,5	10,37	2.221
40	11,0716667	4.297
50	10,34	3.1349
63	12,3208333	2.1124
80	4,20583333	2.2794
100	4,085	2.5136
125	7,65916667	2.8012
160	10,4608333	3.2849
200	19,7633333	3.9467
250	21,6208333	4.1316
315	23,7391667	4.1497
400	25,3583333	4.2561
500	31,12	4.6794
630	32,1966667	4.6134
800	37,6908333	4.7568
1000	35,5616667	4.3986
1250	36,65	4.2645
1600	33,9816667	3.4798
2000	34,3841667	3.5316
2500	35,1566667	3.5849
3150	39,0891667	3.9467
4000	43,7391667	3.5477
5000	37,5325	3.4649
6300	37,8183333	3.5312
8000	40,7766667	3.6467
10000	43,2458333	3.6551
12500	45,625	3.7316
16000	40,9458333	2.9467
20000	30,7841667	2.8124

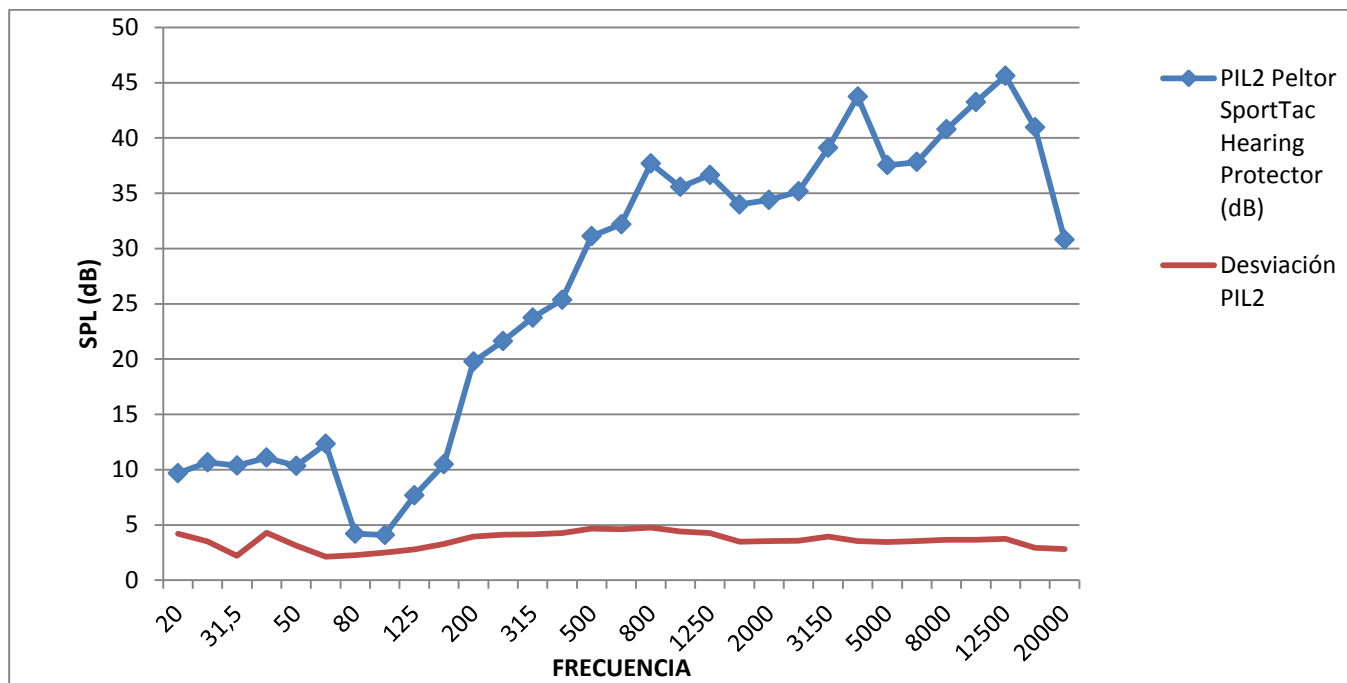


Figura 44. Promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

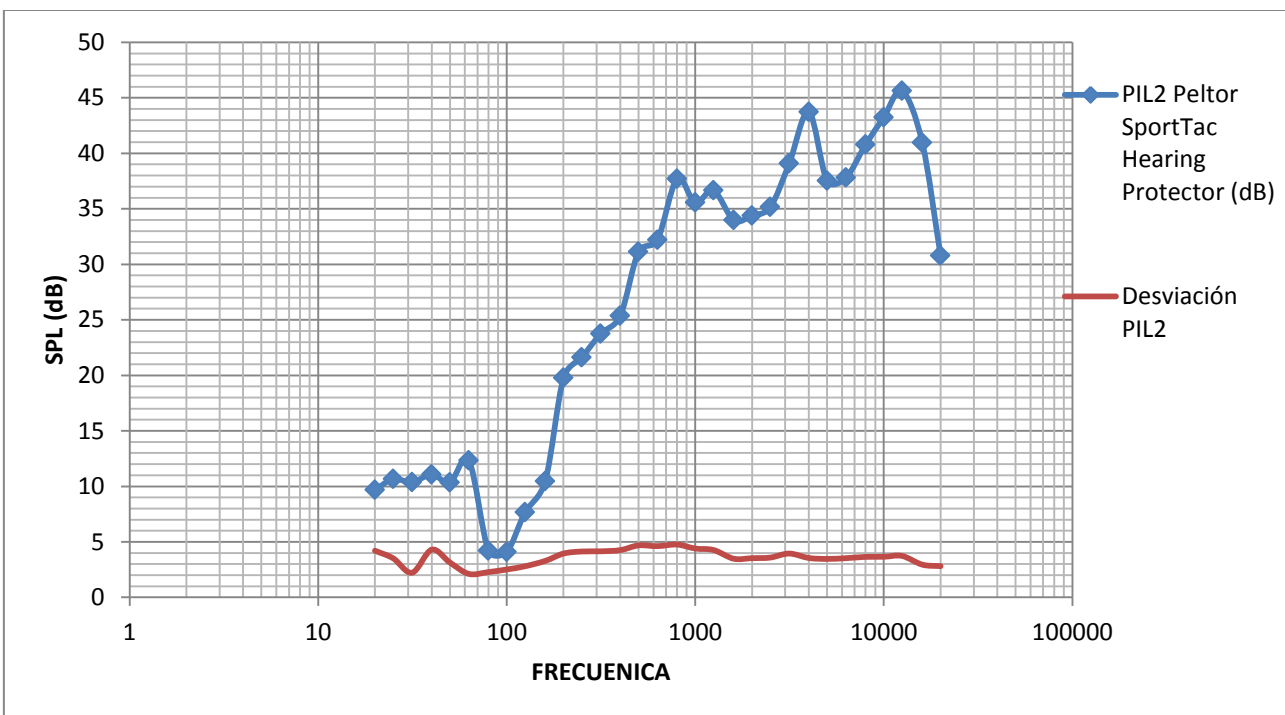


Figura 45. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida de inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Peltor SportTac Hearing Protector por tercios de octava.

En las **Figuras 44 y 45** se observa un comportamiento de atenuación acústica pasiva de los protectores Peltor SportTac Hearing por tercios de octava dentro de la cabina del helicóptero. No se obtuvieron resultados negativos lo cual demuestra su gran efectividad atenuando el SPL generado en todo el espectro de frecuencias. En 10 KHz alcanza su máximo nivel de atenuación total con 43 dB. En la frecuencia central del motor del helicóptero ubicada en 40 Hz se logra una atenuación de 11 dB. Gran desempeño en atenuación pasiva de frecuencias medias altas.

4.4.2.2.2 Medición de la pérdida por inserción activa dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (AIL2)

Tabla 21. Valores del promedio de pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing.

Frecuencia (Hz)	AIL2 Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	Desviación AIL2
20	2,635	1.553
25	1,70166667	0.916
31,5	1,54333333	0.865
40	2,61	1.547
50	1,29833333	0.945
63	-3,98666667	1.598
80	-2,385	1.535
100	0,94666667	0.832
125	-0,94333333	0.948
160	-0,13166667	0.201
200	-1,86666667	1.214
250	-0,27	2.975
315	2,97166667	1.256
400	9,12	1.845
500	9,905	1.264
630	11,93166667	1.813
800	1,67166667	1.997
1000	-0,70166667	2.764
1250	-0,04833333	2.921
1600	4,145	1.819
2000	1,40666667	2.1643
2500	0,43666667	2.3316
3150	3,1	2.4978
4000	2,00833333	2.5549
5000	13,745	1.5316
6300	0,05	3.9978
8000	0,82666667	2.5254
10000	-2,84166667	2.8637
12500	-4,64333333	3.2021
16000	-1,09833333	2.5647
20000	-0,24	1.834

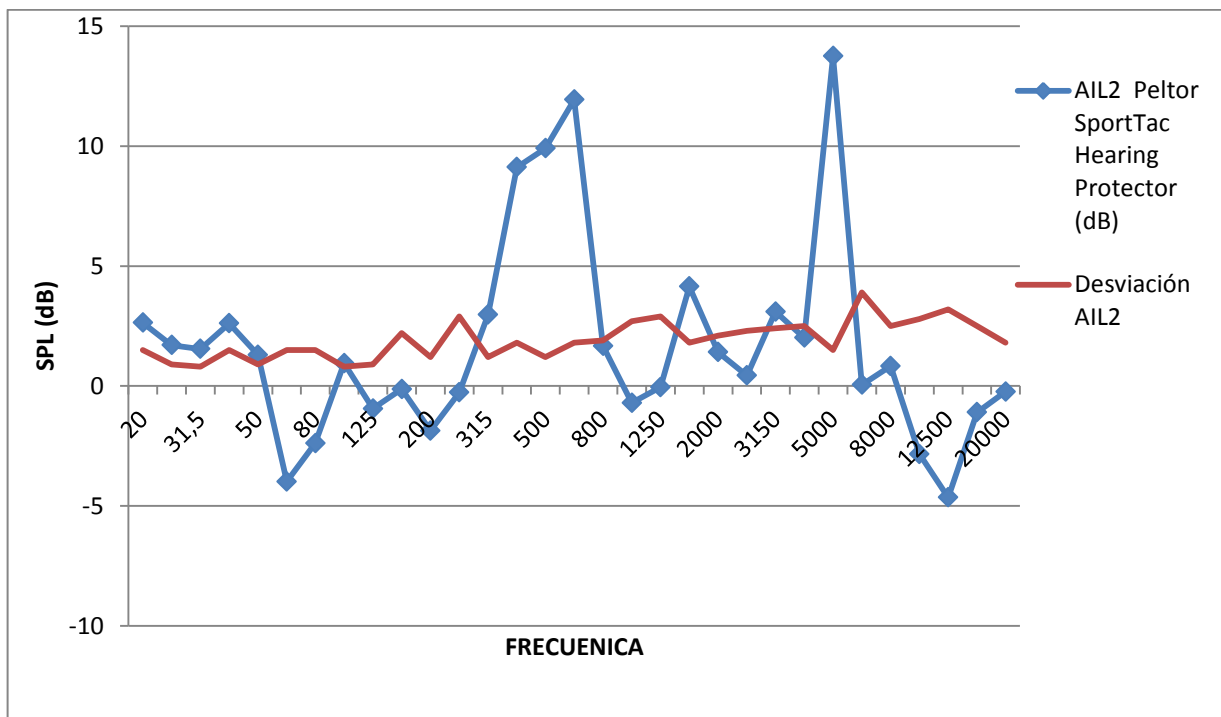


Figura 46. Promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

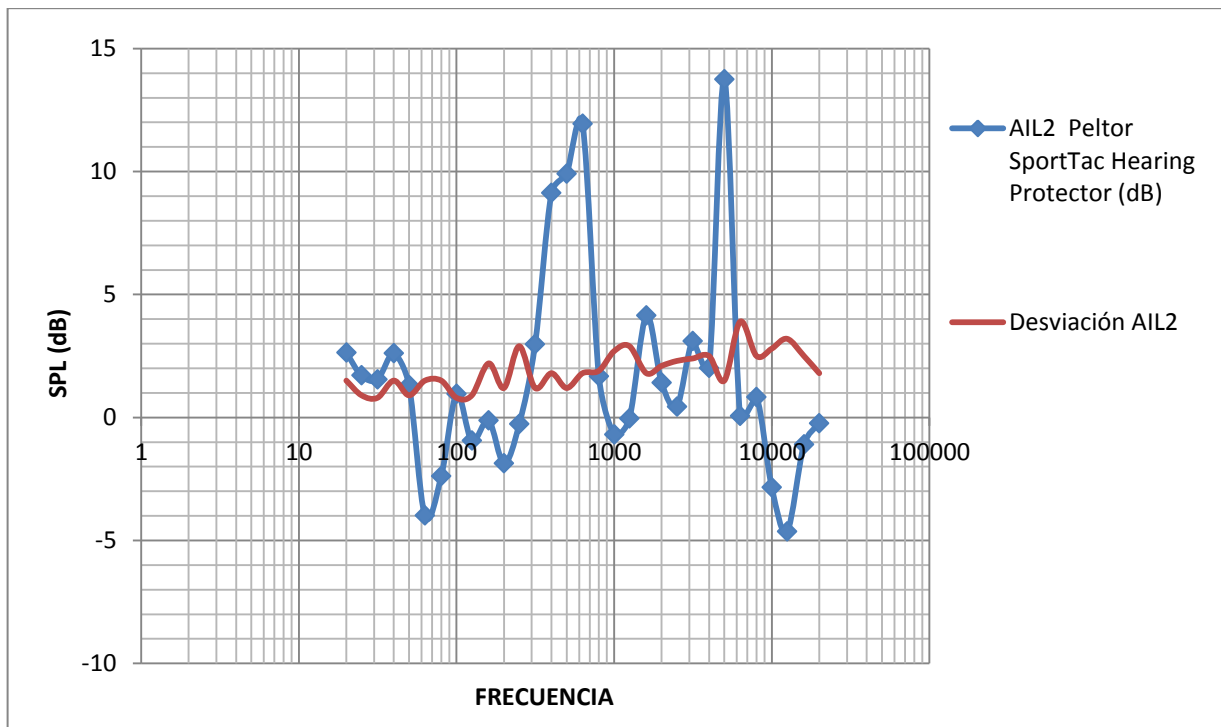


Figura 47. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Peltor SportTac Hearing Protector por tercios de octava.

En las **Figuras 46 y 47** se observa un comportamiento de atenuación acústica activa de los protectores Peltor SportTac Hearing por tercios de octava dentro de la cabina del helicóptero. Se observan atenuaciones 4 dB en la frecuencia central de helicóptero ubicada en 40 Hz. Así mismo es posible observar valores negativos en 63 Hz, 125 Hz, 160 Hz, 200Hz, 1250Hz, 10000Hz, 12500 Hz y 16000 Hz. Lo que demuestra de qué manera se ve afectado el comportamiento frecuencias por octavas, el diseño de construcción y comportamiento del ATF respecto al ruido generado son causas probables de ello. La mayor atenuación se encuentra en 630 Hz con 11 dB.

4.4.2.2.3 Medición de la pérdida de inserción total dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (TIL2)

En las **Figuras 48 y 49** se observa un comportamiento de atenuación acústica total de los protectores Peltor SportTac Hearing por tercios de octava dentro de la cabina del helicóptero. No se obtuvieron resultados negativos lo cual demuestra su gran efectividad atenuando el SPL generado en todo el espectro de frecuencias. A partir de 80 Hz (donde se encuentra su nivel más bajo de atenuación con 1.82 dB) se observa un incremento en todo el espectro atenuando frecuencias medias altas de forma efectiva. En 630 Hz alcanza su máximo nivel de atenuación total con 44 dB. Se obtuvo una atenuación de 13 dB en la frecuencia central del motor (40 Hz) En **4.5.2.4** Se realiza un análisis detallado comparando los tres dispositivos en sus tres parámetros de evaluación.

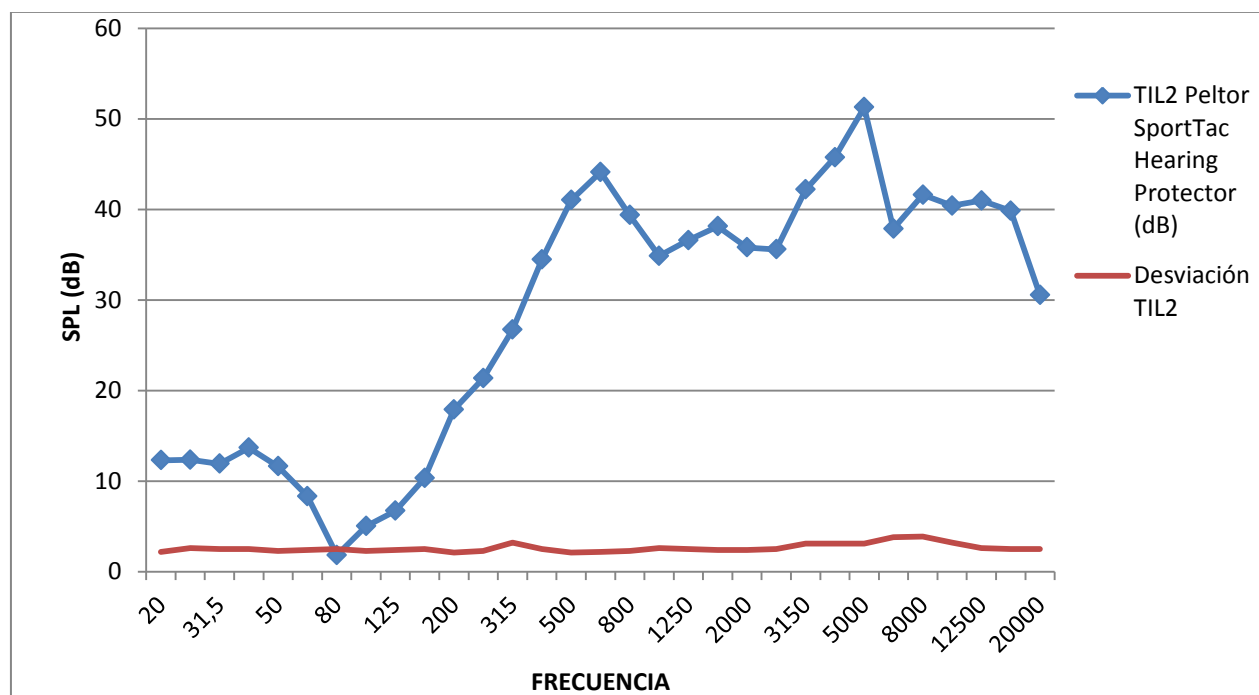


Figura 48. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.

Tabla 22. Valores del promedio de pérdida por inserción total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing.

Frecuencia (Hz)	TIL2 Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	Desviación TIL2
20	12,3108333	2.221
25	12,3625	2.6214
31,5	11,9133333	2.5614
40	13,6816667	2.5079
50	11,6383333	2.3245
63	8,33416667	2.4548
80	1,82083333	2.5967
100	5,03166667	2.3325
125	6,71583333	2.4248
160	10,3291667	2.5794
200	17,8966667	2.1544
250	21,3508333	2.3572
315	26,7108333	3.2435
400	34,4783333	2.5015
500	41,025	2.1487
630	44,1283333	2.2167
800	39,3625	2.3445
1000	34,86	2.6326
1250	36,6016667	2.5902
1600	38,1266667	2.4241
2000	35,7908333	2.446
2500	35,5933333	2.5976
3150	42,1891667	3.1316
4000	45,7475	3.1497
5000	51,2775	3.149
6300	37,8683333	3.8467
8000	41,6033333	3.9134
10000	40,4041667	3.2197
12500	40,9816667	2.6849
16000	39,8475	2.5948
20000	30,5441667	2.5978

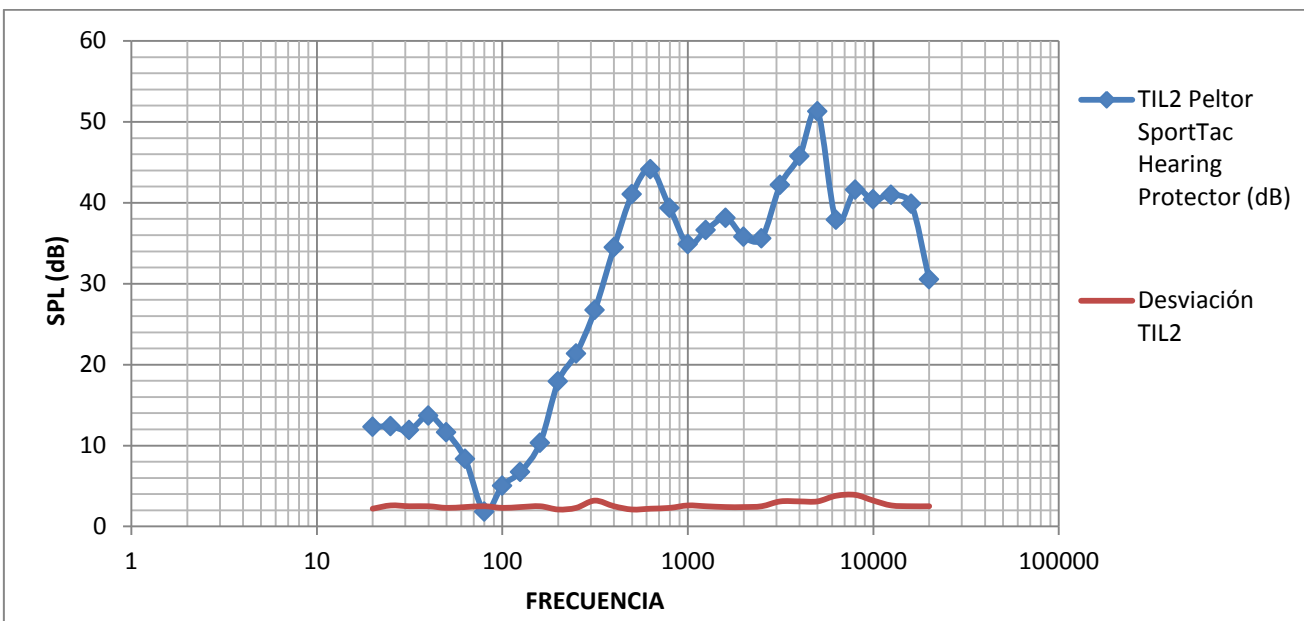


Figura 49. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor SportTac Hearing por tercios de octava.



Figura 50. Medición del Protector Peltor SportTac Hearing usando el método del ATF dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 en vuelo.

4.4.2.3 Peltor Tactical Pro Headset

4.4.2.3.1 Medición de la pérdida de inserción pasiva dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (PIL2)

Tabla 23. Valores del promedio de pérdida por inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Frecuencia (Hz)	PIL2 Peltor Tactical Pro Headsets (dB)	Desviación PIL2
20	9,6875	2.1154
25	11,2408333	2.374
31,5	10,065	2.4437
40	11,7566667	2.1467
50	9,03	2.1197
63	11,5375	2.3194
80	2,0825	2.4457
100	7,0766667	2.4326
125	12,9658333	2.60124
160	18,4375	2.4157
200	24,6583333	2.6154
250	23,1491667	2.8945
315	28,8458333	2.9326
400	32,4516667	3.1485
500	31,595	3.5755
630	32,6716667	3.2124
800	33,2808333	3.9198
1000	34,6266667	3.5134
1250	36,8316667	3.5122
1600	37,1583333	3.4134
2000	36,0475	3.1167
2500	33,05	3.6468
3150	27,6575	3.2986
4000	27,0908333	2.9124
5000	35,1441667	3.5475
6300	34,1783333	3.5497
8000	39,0066667	3.614
10000	39,9258333	3.5316
12500	40,2533333	3.7974
16000	37,1008333	3.9134
20000	29,7525	2.8124

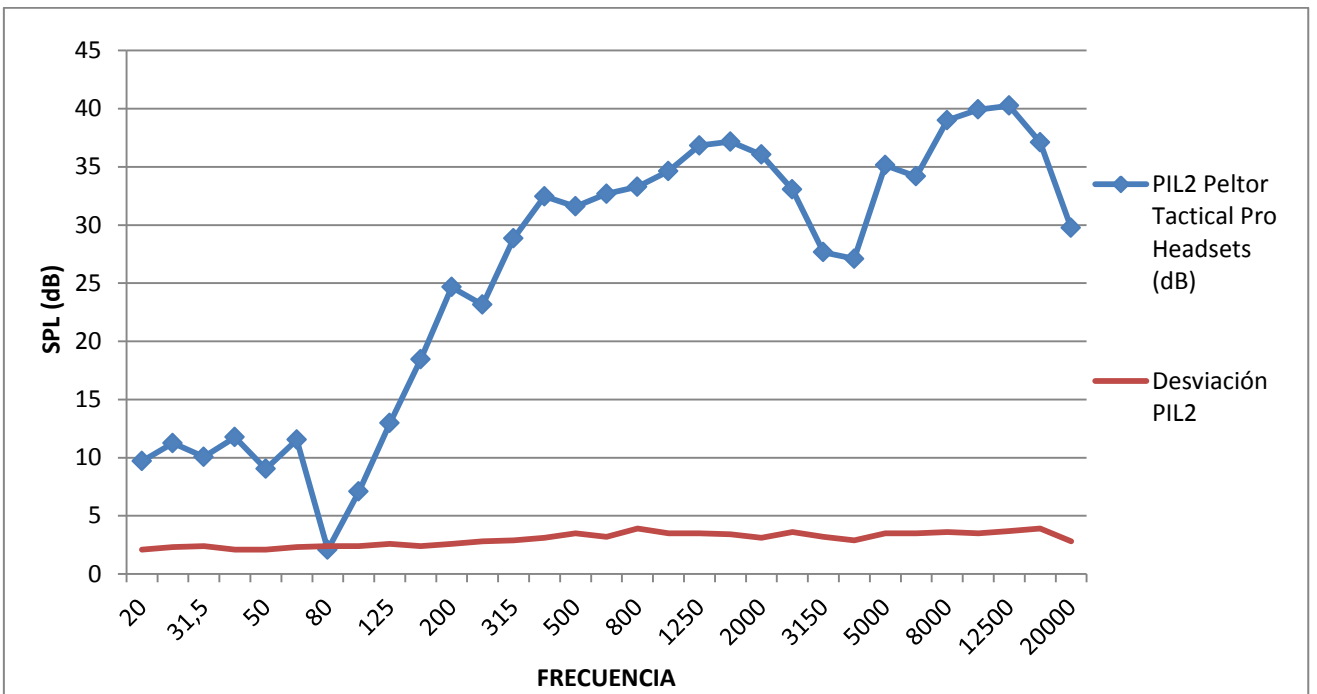


Figura 51. Promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

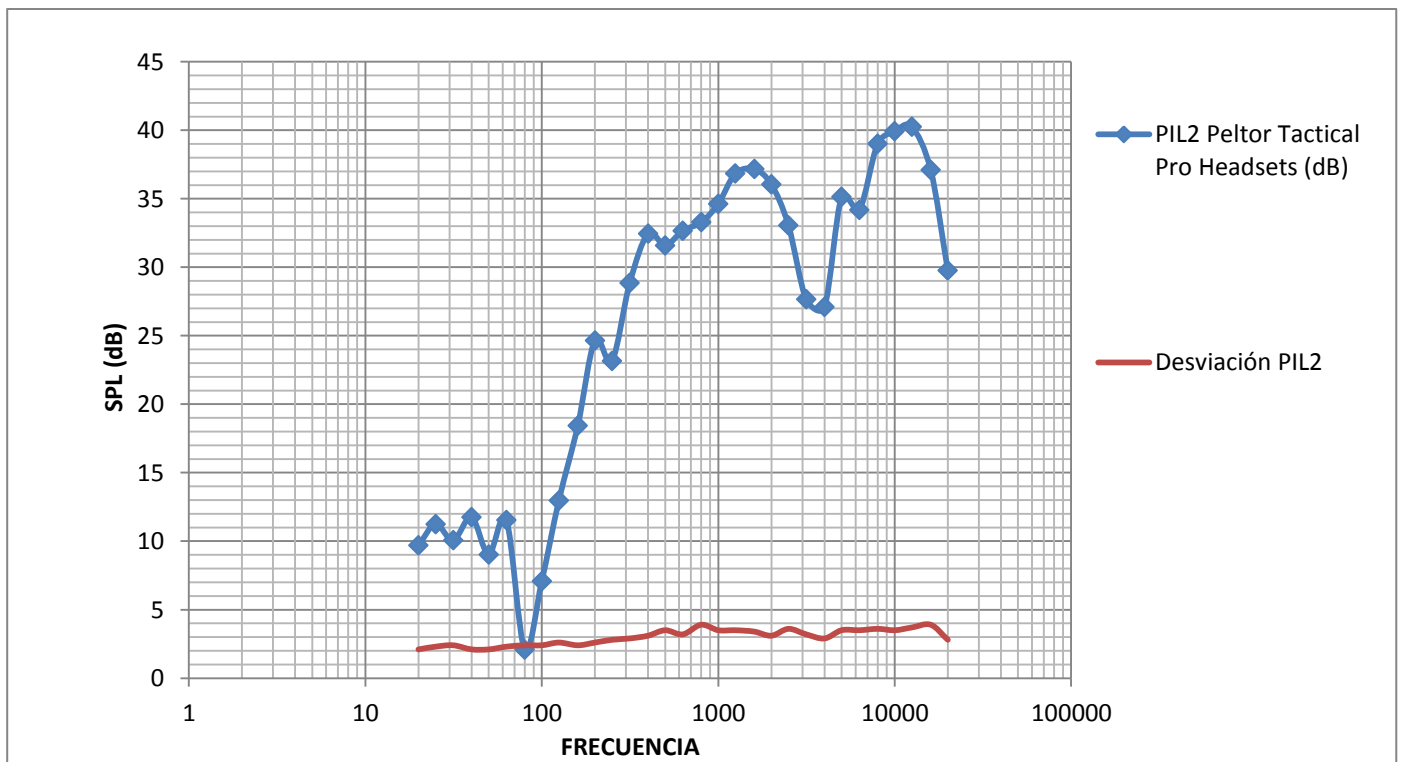


Figura 52. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción pasiva (PIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

En las **Figuras 51 y 52** se observa un comportamiento de atenuación acústica pasiva de los protectores Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava dentro de la cabina del helicóptero. No se obtuvieron resultados negativos lo cual demuestra su gran efectividad atenuando el SPL generado en todo el espectro de frecuencias. En 12.5 KHz alcanza su máximo nivel de atenuación total con 40 dB. En la frecuencia central del motor del helicóptero ubicada en 40 Hz se logra una atenuación de 11.7 dB. Gran desempeño en atenuación pasiva de frecuencias medias altas con rangos superiores a los 30 dB de atenuación pasiva.

4.4.2.3.2 Medición de la pérdida por inserción activa dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (AIL2)

Tabla 24. Valores del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Frecuencia (Hz)	AIL2 Peltor Tactical Pro Headsets (Db)	Desviación AIL2
20	6,85	4,78764271
25	5,96666667	4,86385857
31,5	6,24	4,94935964
40	2,27833333	5,0383942
50	5,8325	5,09312918
63	7,4825	5,19386096
80	3,51	5,28712537
100	7,33333333	5,38301376
125	1,41	5,49186071
160	0,82833333	5,54344293
200	-0,33	5,56647374
250	0,71666667	5,51328507
315	-0,7083333	5,49958902
400	2,75666667	5,35627433
500	3,19333333	5,41070173
630	3,97833333	5,48134464
800	11,0591667	5,58819291
1000	6,33333333	5,72180341
1250	2,87333333	5,94452812
1600	6,21416667	6,02683014
2000	3,175	6,29262846
2500	7,32	6,397126
3150	19,2825	6,76590476
4000	18,8316667	5,89949194
5000	13,0483333	4,03896651
6300	9,19166667	2,78167431
8000	5,61833333	1,92937466
10000	3,89916667	1,91231717
12500	5,54666667	2,30708365
16000	3,24166667	1,63282741
20000	0,9325	2,587523

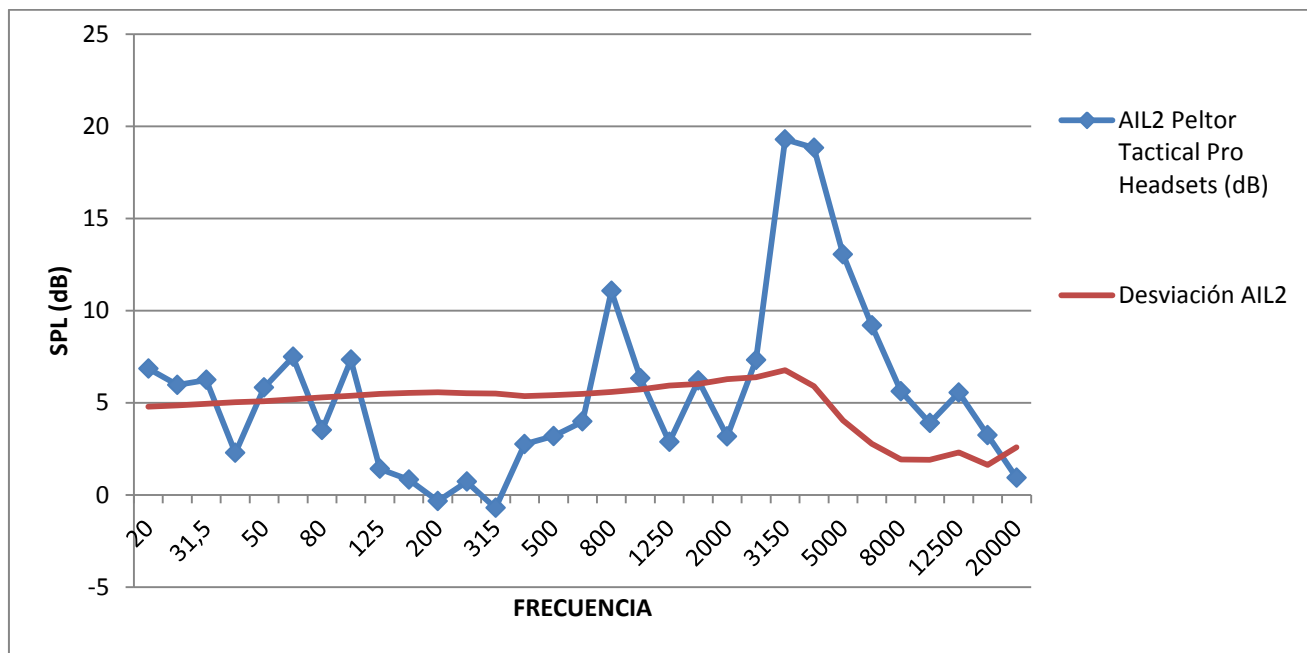


Figura 53. Promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

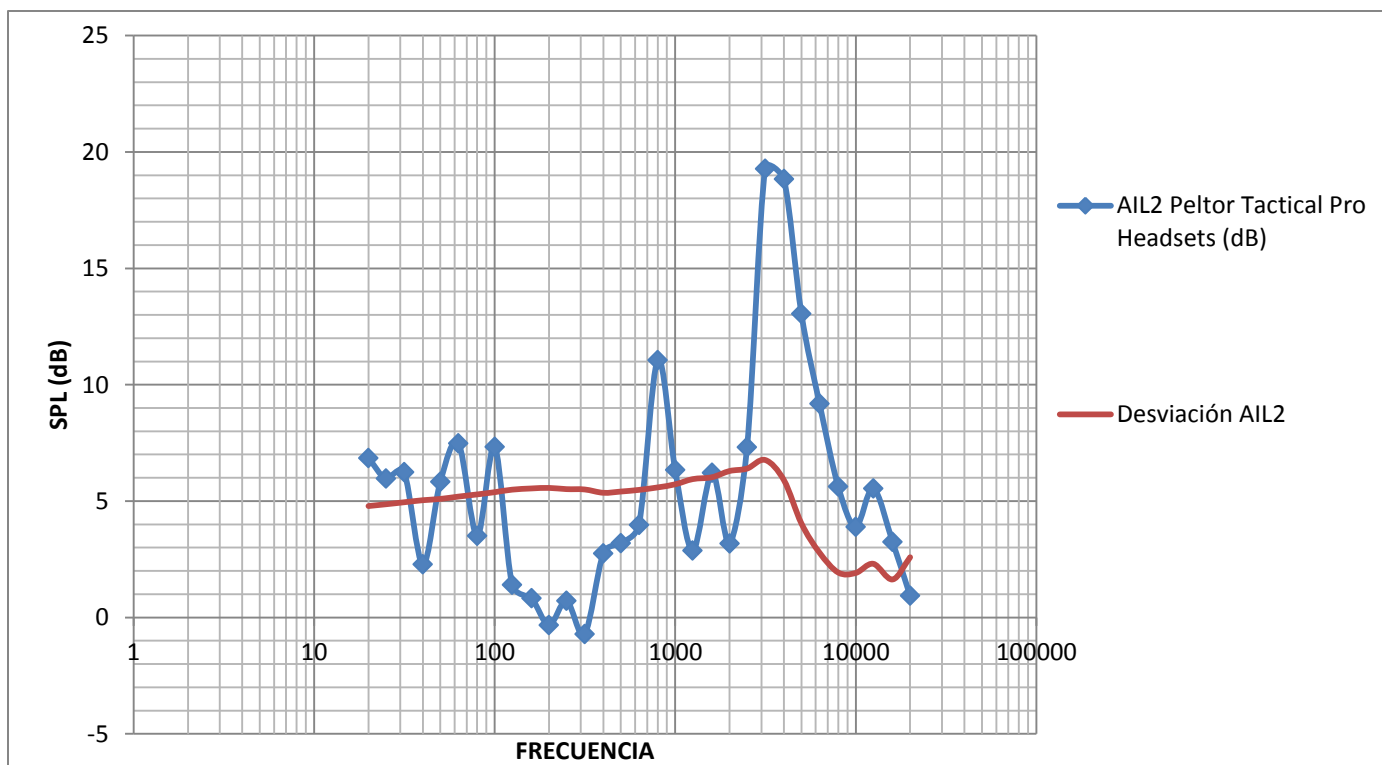


Figura 54. Gráfica Logarítmica del promedio de la pérdida por inserción activa (AIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

En las **Figuras 53 y 54** se observa un comportamiento de atenuación acústica activa de los protectores Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava dentro de la cabina del helicóptero. Se observan atenuaciones 2.27 dB en la frecuencia central de helicóptero ubicada en 40 Hz. Así mismo es posible observar valores negativos en 200Hz y 315 Hz. Lo que demuestra la gran efectividad de éstos protectores en su parámetro activo. La mayor atenuación se encuentra en 4000 Hz con 18 dB.

4.4.2.3.3 Medición de la pérdida de inserción total dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (TIL2)

Tabla 25. Valores del promedio de pérdida por inserción total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset.

Frecuencia (Hz)	TIL2 Peltor Tactical Pro Headsets (Db)	Desviación TIL2
20	16,5375	4,27289002
25	17,2075	4,40300614
31,5	16,305	4,56298313
40	14,035	4,68504432
50	14,8625	4,90902066
63	19,02	5,03281143
80	5,5925	5,24684242
100	14,41	5,41599902
125	14,3758333	5,69370279
160	19,2658333	8,20879666
200	24,3283333	7,21237838
250	23,8658333	6,53701529
315	28,1375	5,49806487
400	35,2083333	4,71984546
500	34,7883333	4,60132625
630	36,65	4,38038131
800	44,34	4,27289002
1000	40,96	4,40300614
1250	39,705	4,56298313
1600	43,3725	4,68504432
2000	39,2225	4,90902066
2500	40,37	5,03281143
3150	46,94	5,24684242
4000	45,9225	5,41599902
5000	48,1925	5,69370279
6300	43,37	5,57568779
8000	44,625	6,14364265
10000	43,825	6,70946389
12500	45,8	7,65413655
16000	40,3425	6,82888374
20000	30,685	6,7896325

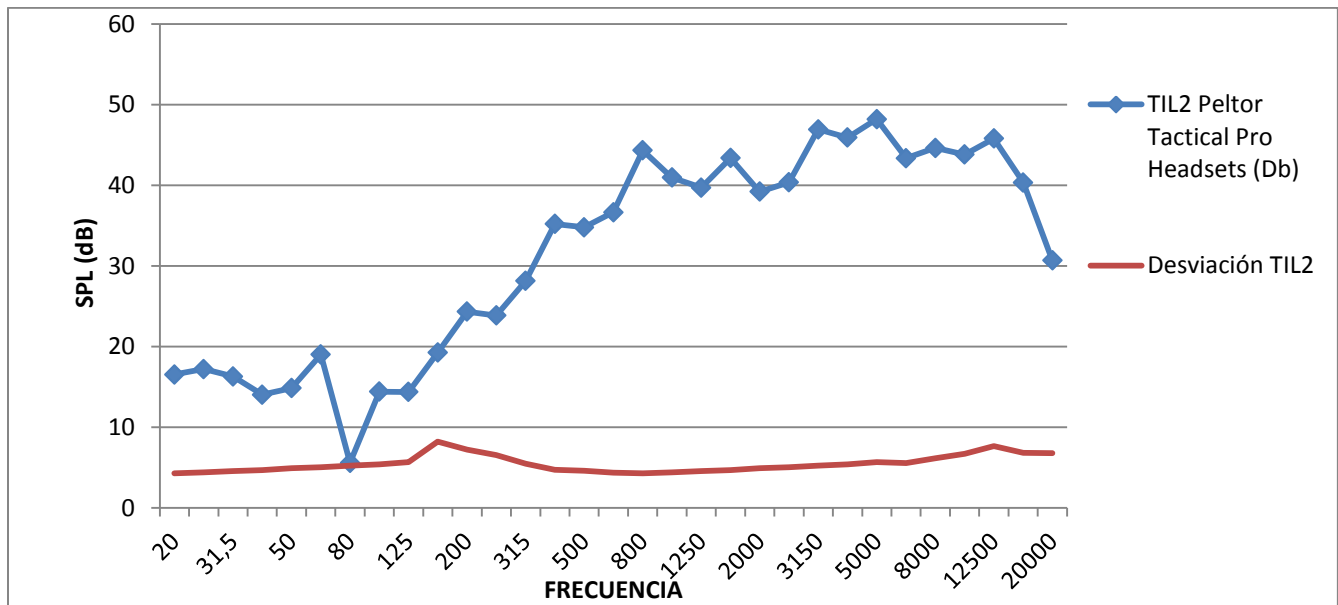


Figura 55. Promedio de la Pérdida por Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

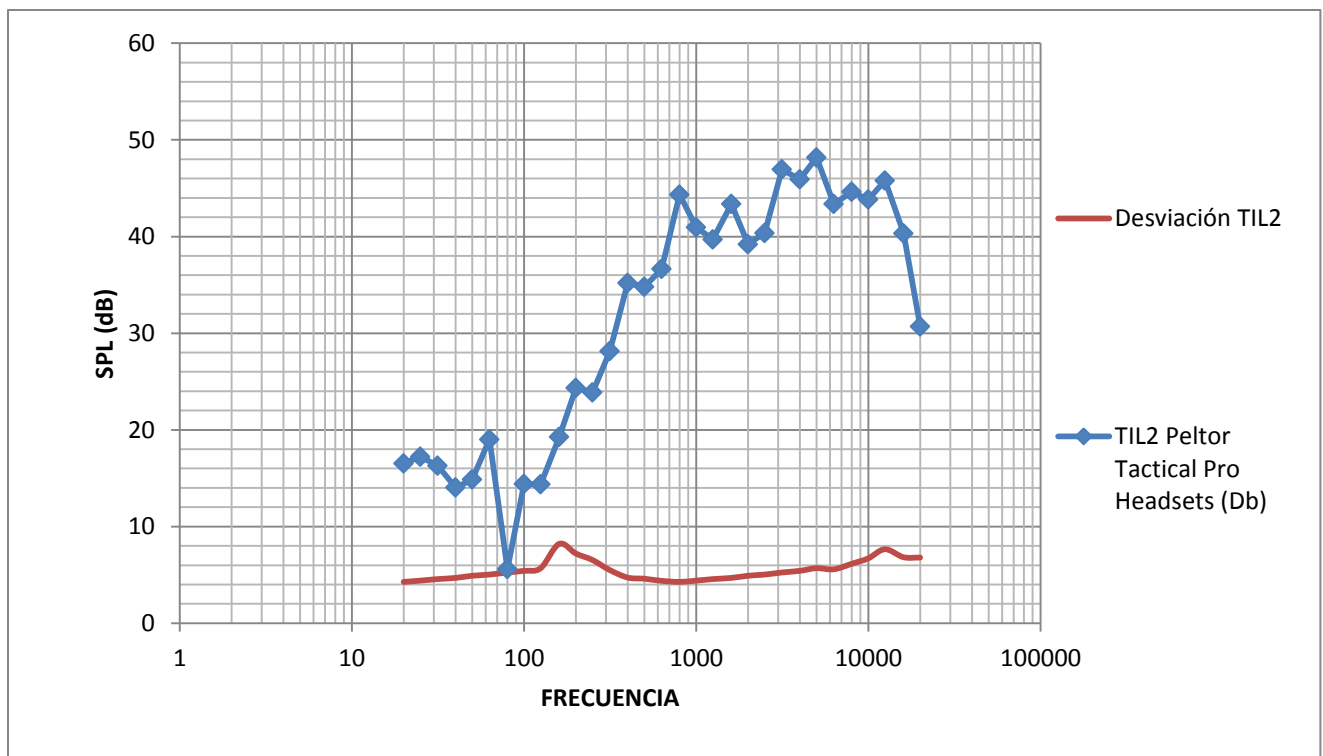


Figura 56. Gráfica Logarítmica del promedio de la Pérdida de Inserción Total (TIL2) y Desviación Estándar (DE) para el Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava.

En las **Figuras 55 y 56** se observa un comportamiento de atenuación acústica total de los protectores Protector Peltor Tactical Pro Headset por tercios de octava dentro de la cabina del helicóptero. No se obtuvieron resultados negativos lo cual demuestra su gran efectividad atenuando el SPL generado en todo el espectro de frecuencias. A partir de 80 Hz (donde se encuentra su nivel más bajo de atenuación con 6 dB) se observa un incremento en todo el espectro atenuando frecuencias medias altas de forma efectiva. En 5 KHz alcanza su máximo nivel de atenuación total con 48 dB. Se obtuvo una atenuación de 14 dB en la frecuencia central del motor (40 Hz) En **4.5.2.4** Se realiza un análisis detallado comparando los tres dispositivos en sus tres parámetros de evaluación.



Figura 57. Medición del Protector Peltor Tactical Pro Headset usando el método del ATF dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 en vuelo.

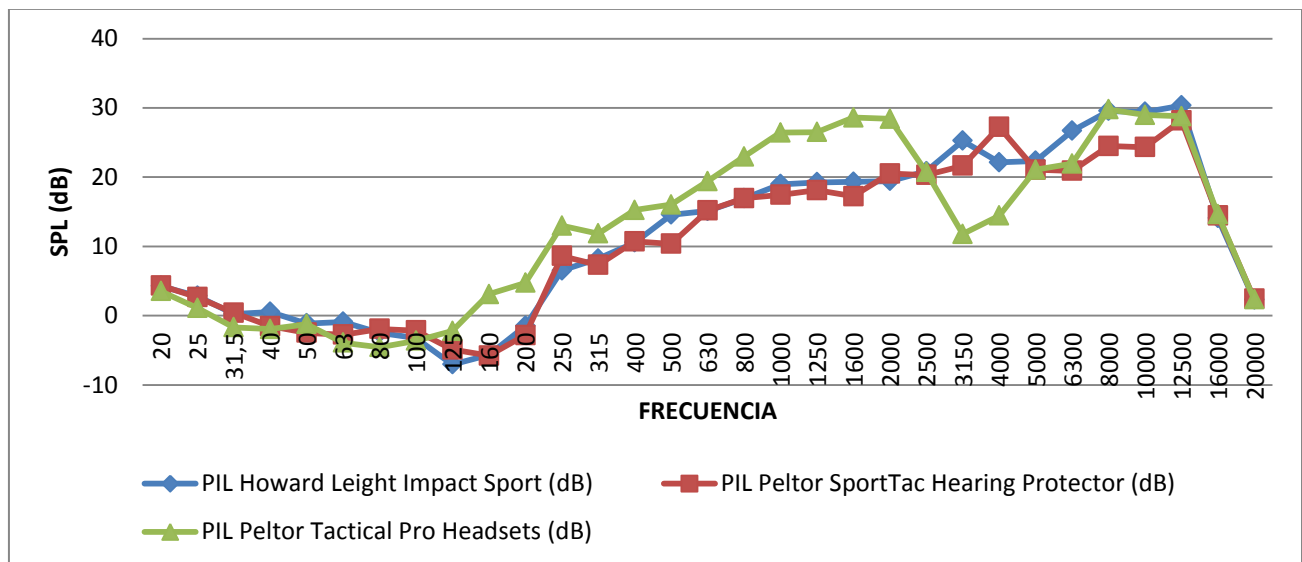
4.5 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

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. Se realizará primero un análisis sobre los resultados obtenidos en las mediciones en estudio en los diferentes parámetros acústicos PIL, AIL y TIL, comparando los resultados entre sí y con las especificaciones del fabricante para cada protector.

Los resultados obtenidos en las mediciones dentro de la cabina del helicóptero se analizarán de igual forma, comparando los resultados y se observará el comportamiento de cada protector frente al ruido generado por el rotor del helicóptero.

4.5.1 ANÁLISIS COMPARATIVO PRUEBAS DE ESTUDIO

4.5.1.1 Pérdida de inserción pasiva (PIL)



6 *Figura 58.* Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Tabla 26 Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Frecuencia (Hz)	PIL Howard Leight Impact Sport (Db)	PIL Peltor SportTac Hearing Protector (Db)	PIL Peltor Tactical Pro Headsets (Db)
20	4,27333333	4,335	3,526667
25	2,845	2,65333333	1,103333
31,5	0,22666667	0,42166667	-1,673333
40	0,53333333	-1,5266667	-1,941667
50	-1,14	-2,465	-1,213333
63	-0,895	-2,745	-3,911667
80	-2,4591667	-1,9108333	-4,544167
100	-3,2291667	-2,1358333	-3,635833
125	-7,0383333	-4,8866667	-2,206667
160	-5,685	-5,7833333	3,098333
200	-1,4983333	-2,8166667	4,741667
250	6,5175	8,60916667	12,979167
315	8,23583333	7,33416667	11,855833
400	10,5591667	10,7308333	15,240833
500	14,575	10,3666667	16,033333
630	15,1008333	15,1825	19,4175
800	16,9233333	16,9533333	22,966667
1000	18,9666667	17,435	26,43
1250	19,245	18,1183333	26,503333
1600	19,3183333	17,2416667	28,591667
2000	19,4408333	20,5191667	28,415833
2500	20,8391667	20,3008333	20,739167
3150	25,2491667	21,6525	11,784167
4000	22,1291667	27,2341667	14,4425
5000	22,345	21,0666667	21,066667
6300	26,6733333	20,8983333	21,956667
8000	29,5591667	24,4858333	29,785833
10000	29,4008333	24,3358333	28,9625
12500	30,3391667	28,1775	28,7925
16000	14,1	14,465	14,648333
20000	2,28833333	2,43666667	2,323333

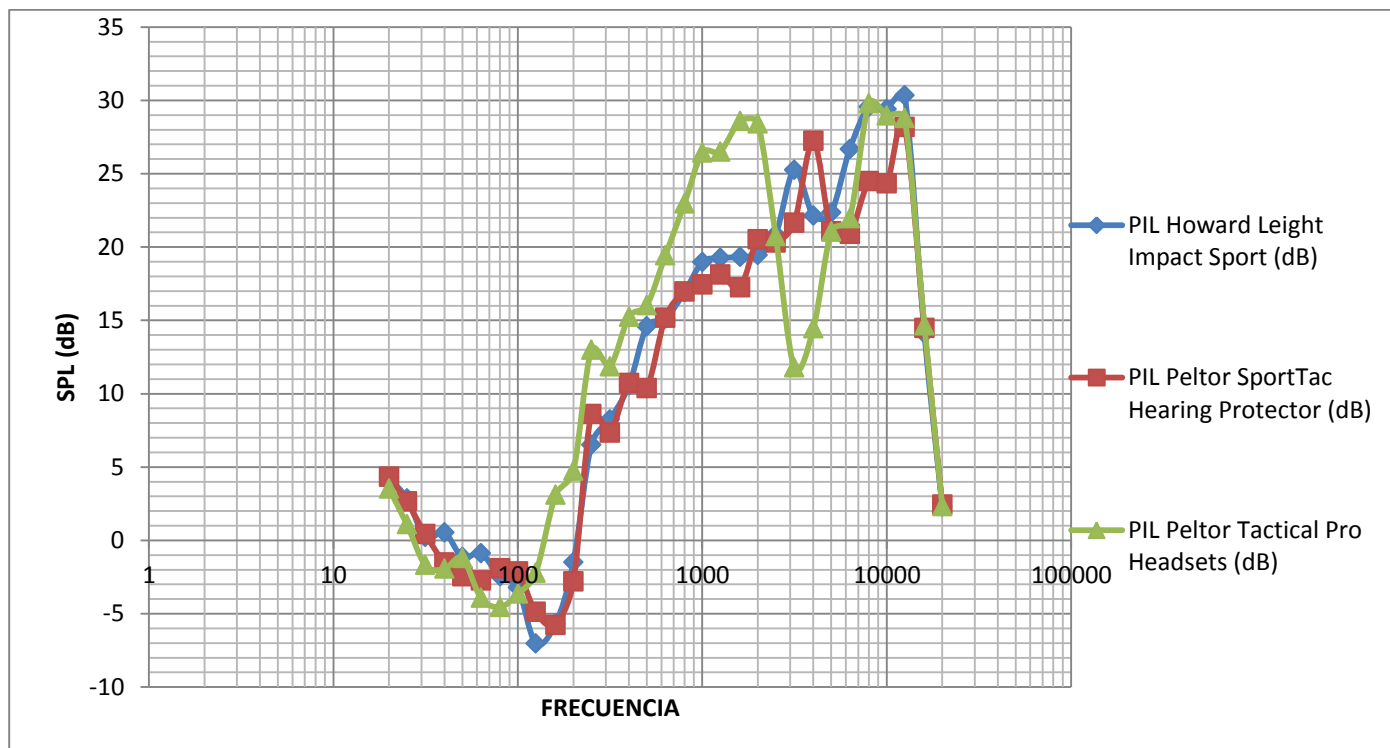


Figura 59. Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

6.1.1.1 Pérdida de inserción activa (AIL)

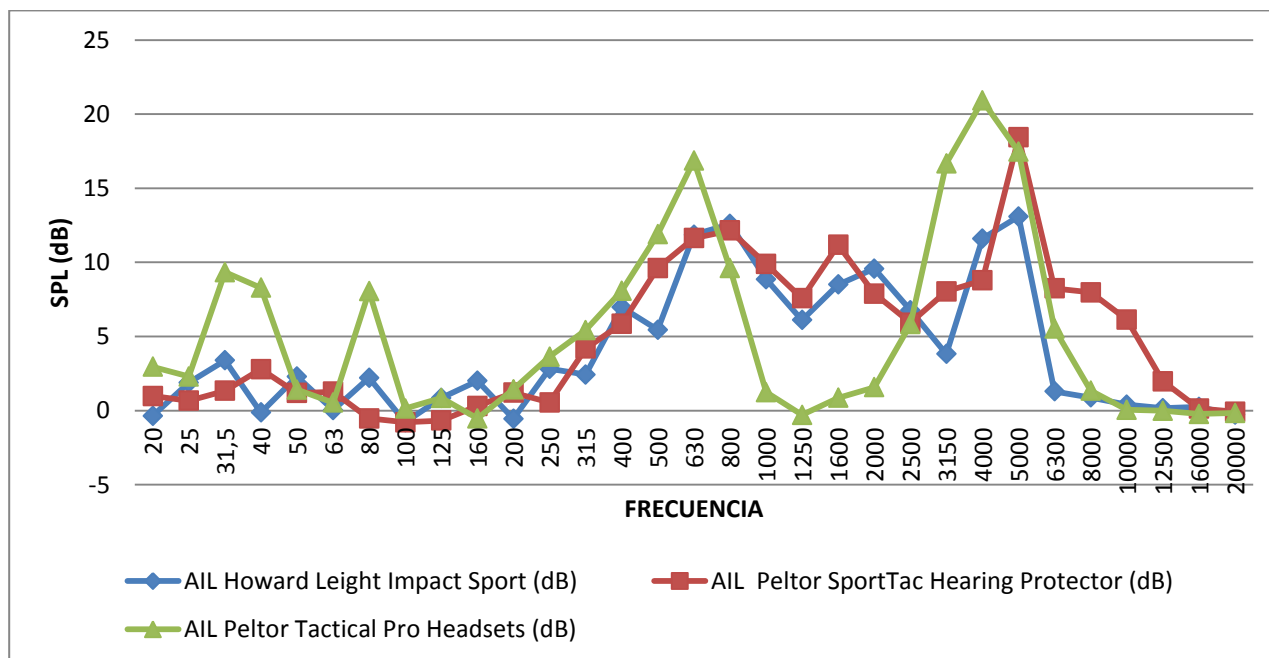


Figura 60. Valores del Promedio de la Pérdida de inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Tabla 27. Valores del Promedio de la Pérdida de inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

FRECUENCIA (Hz)	AIL Howard Leight Impact Sport (Db)	AIL Peltor SportTac Hearing Protector (Db)	AIL Peltor Tactical Pro Headsets (Db)
20	-0,36	0,97666667	2,95499967
25	1,88666667	0,67333334	2,30000033
31,5	3,38833333	1,335	9,33999967
40	-0,1283333	2,79666667	8,28333367
50	2,30166667	1,19	1,40999967
63	0,02666667	1,26833333	0,54000033
80	2,20833334	-0,5333333	8,046667
100	-0,79	-0,7883333	0,13999967
125	0,85	-0,6683333	0,851667
160	2,01	0,315	-0,5299997
200	-0,55	1,21166667	1,42999967
250	2,81333333	0,54666666	3,633333
315	2,43166667	4,185	5,42500033
400	6,97166666	5,855	8,07833367
500	5,44666667	9,61666666	11,8900003
630	11,855	11,6283333	16,855
800	12,5883333	12,1566667	9,603333
1000	8,86166666	9,89	1,24
1250	6,11166667	7,57166667	-0,2949997
1600	8,5	11,175	0,863333
2000	9,575	7,89333333	1,58000033
2500	6,76833333	5,92	5,83166633
3150	3,82166666	8,035	16,6699997
4000	11,5983333	8,78166666	20,9116667
5000	13,0933333	18,4283333	17,4666663
6300	1,29	8,24833334	5,52166633
8000	0,88833333	7,97	1,35333367
10000	0,4	6,13666667	0,05
12500	0,16	1,97833333	-0,0166667
16000	0,24666667	0,13666667	-0,2249997
20000	-0,2783333	-0,075	-0,168333

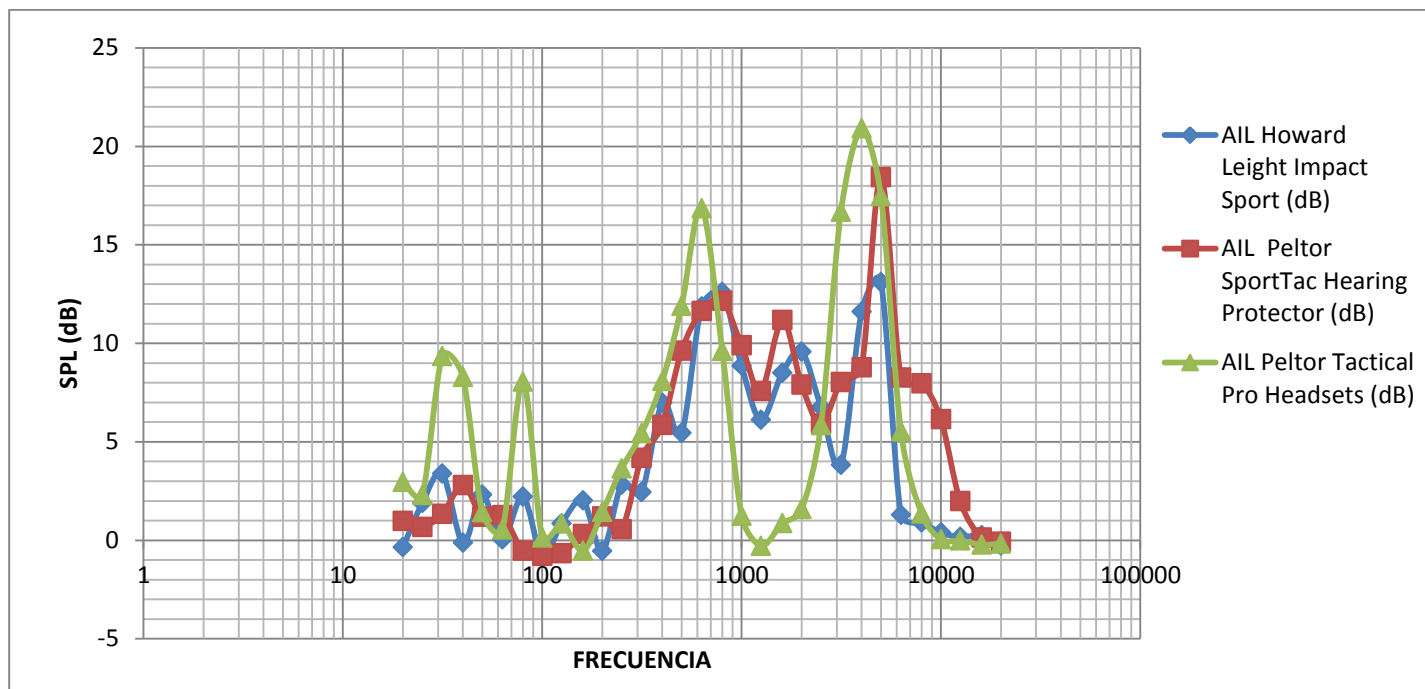


Figura. 61. Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida de inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

6.1.1.2 Pérdida de inserción total (TIL)

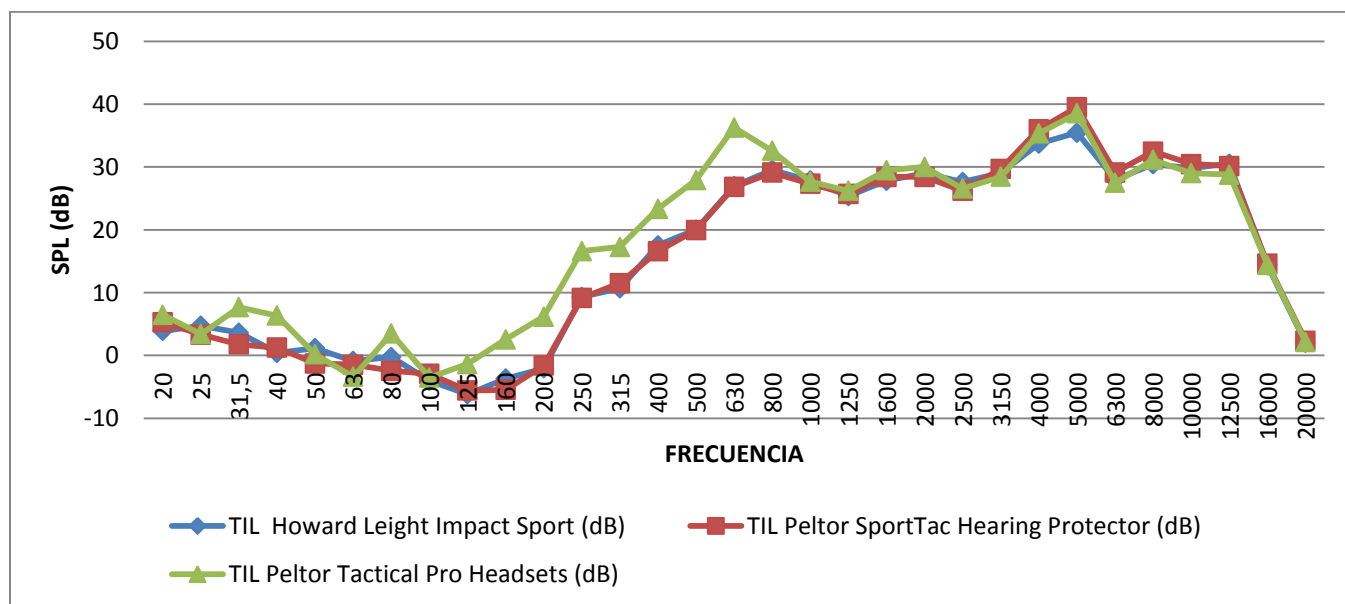


Figura 62. Valores del Promedio de la Pérdida de inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Tabla 28. Valores del Promedio de la Pérdida de inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Frecuencia (Hz)	TIL Howard Leight Impact Sport (Db)	TIL Peltor SportTac Hearing Protector (Db)	TIL Peltor Tactical Pro Headsets (Db)
20	3,91333333	5,31166667	6,48166667
25	4,73166667	3,32666667	3,40333333
31,5	3,615	1,75666667	7,66666667
40	0,405	1,27	6,34166667
50	1,16166667	-1,275	0,19666667
63	-0,8683333	-1,4766667	-3,3716667
80	-0,2508333	-2,4441667	3,5025
100	-4,0191667	-2,9241667	-3,4958333
125	-6,1883333	-5,555	-1,355
160	-3,675	-5,4683333	2,56833333
200	-2,0483333	-1,605	6,17166667
250	9,33083333	9,15583333	16,6125
315	10,6675	11,5191667	17,2808333
400	17,5308333	16,5858333	23,3191667
500	20,0216667	19,9833333	27,9233333
630	26,9558333	26,8108333	36,2725
800	29,5116667	29,11	32,57
1000	27,8283333	27,325	27,67
1250	25,3566667	25,69	26,2083333
1600	27,8183333	28,4166667	29,455
2000	29,0158333	28,4125	29,9958333
2500	27,6075	26,2208333	26,5708333
3150	29,0708333	29,6875	28,4541667
4000	33,7275	36,0158333	35,3541667
5000	35,4383333	39,495	38,5333333
6300	27,9633333	29,1466667	27,4783333
8000	30,4475	32,4558333	31,1391667
10000	29,8008333	30,4725	29,0125
12500	30,4991667	30,1558333	28,7758333
16000	14,3466667	14,6016667	14,4233333
20000	2,01	2,36166667	2,155

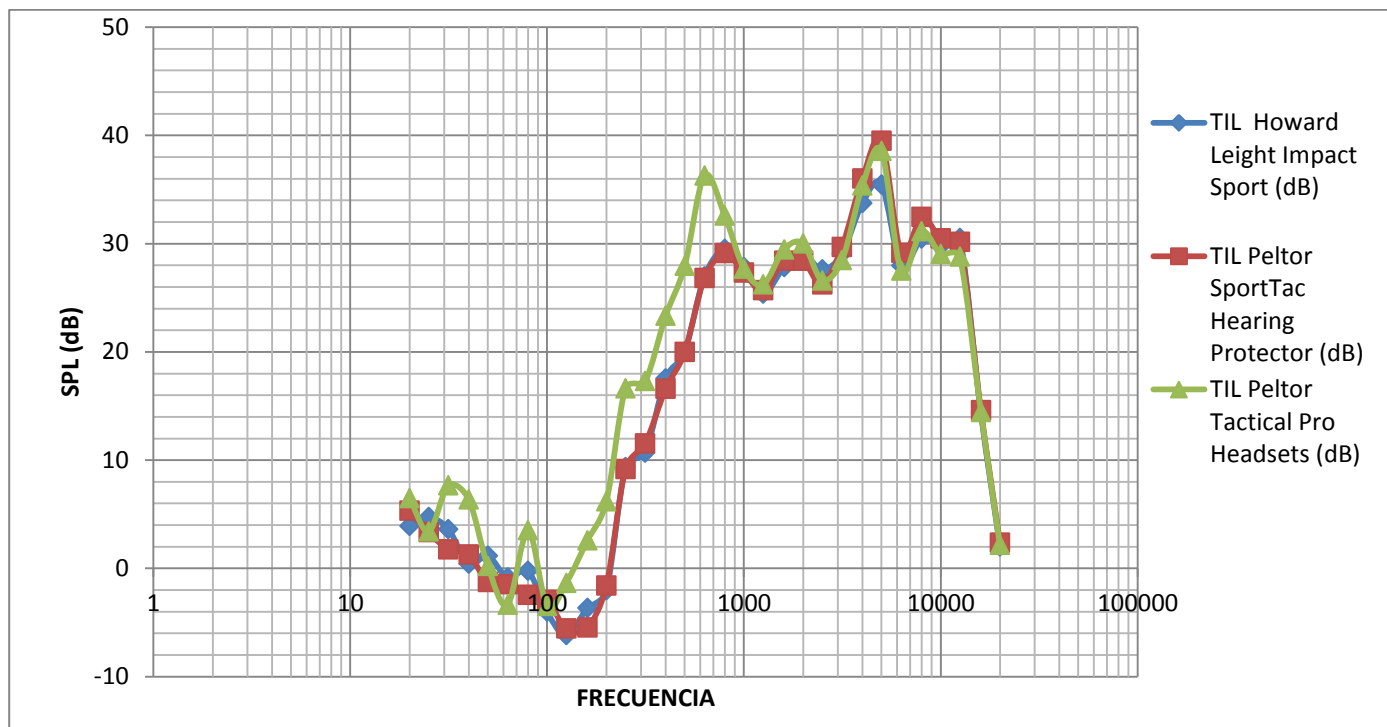


Figura 63. Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida de inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

6.1.1.3 ANÁLISIS

Al momento de realizar el análisis del parámetro PIL se observaron algunos resultados negativos en frecuencias bajas comprendidas en el rango de 50 a 200 Hz para el protector Howard Leight Impact Sport y de 40 a 200 Hz para el protector Peltor SportTac Hearing, esto como consecuencia del diseño de la capsula la cual permite el paso de sonido al no quedar perfectamente ajustado. El protector Peltor Tactical Pro Headsets presenta el mejor comportamiento pasivo a causa del diseño de la capsula que rodea totalmente el oído de forma satisfactoria con valores negativos en el rango de 31,5 a 125 Hz. Esto demuestra la baja efectividad de un dispositivo pasivo para controlar y atenuar frecuencias bajas características de los motores de hélice fija ya que requerirían soluciones con grandes dimensiones y pesos por debajo de 500 Hz, dejando un gran rango de frecuencias bajas que se busca tratar con control activo de ruido. Esto se ve reflejado en que el control activo de ruido tienda a tener un mejor desempeño en frecuencias bajas al ser más sencillo desfazar su onda con exactitud a diferencia de las frecuencias altas que pueden presentar fluctuaciones y cambios al momento de intentar el desfase. Se observa un comportamiento lineal de atenuación a medida que aumenta la frecuencia.

El protector Howard Leight Impact Sport registró sorpresivamente el mejor comportamiento en frecuencias altas a partir de los 2500Hz, sin tener la comodidad y tamaño de la capsula y almohadillas considerable para tener éstos resultados. Las mediciones dieron como resultado el dominio en atenuación pasiva por parte de los protectores Peltor Tactical Pro Headsets en las frecuencia comprendidas entre el rango de 125 Hz – 2500 Hz, sobre los otros dos protectores con una diferencia máxima de 9,5 dB entre 1600 Hz y 2500 Hz. Sin embargo se puede apreciar que el valor de atenuación pasiva se ve reducido entre 2500 – 5000 Hz en el cual el Protector SportTac Hearing sobresale con una diferencia máxima de 13 dB en 4KHz respecto al protector Peltor Tactical Pro y de 5 dB respecto al protector Howard Leight Impact Sport.

Respecto a la atenuación por inserción activa (AIL) se observa una variación en el comportamiento de los datos obtenidos, ya que el protector Peltor Tactical Pro Headsets presenta valores de atenuación de 8 dB en frecuencias muy bajas como los son 31,5 y 40 Hz, sin embargo en el rango de 630 a 3150 Hz se aprecia el decaimiento de atenuación por parte de éstos protectores, permitiendo que los protectores SportTac Hearing presenten una mayor atenuación en promedio de 11 dB en aquel rango de frecuencias. Los mayores valores de atenuación activa para los 3 dispositivos se encuentran en las frecuencias altas entre 3150 y 6300 Hz, el cual es dominado por el protector Peltor Tactical Pro con un valor máximo de 20,91dB en la frecuencia de 4 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. Como se esperaba, el protector Peltor Tactical Pro obtiene los mayores valores de atenuación, sin embargo los valores de los 3 protectores son muy cercanos, de comportamiento lineal y con aumento y disminución de niveles SPL en los mismos rangos de frecuencia. Se observa entonces que el nivel máximo de atenuación se registra en 5000 Hz donde el protector Peltor Spotac Hearing alcanza un nivel de atenuación 39dB, sin embargo no es suficiente para alcanzar el desempeño de los protectores de gama alta Peltor Tactical Pro los cuales demostraron a través de todo el espectro una mayor cancelación entre los 31,5 – 2500 Hz. El comportamiento de los protectores Peltor Spotac Hearing y Howard Leight Impact Sport son muy cercanos a través de todo el espectro, lo cual no permitía realizar una diferencia clara y considerable en el comportamiento de atenuación total.

En la Tabla 29. Se muestran los valores entregados por el fabricante del sistema de atenuación total (activa + pasivo) así como los valores obtenidos en las pruebas objetivas de estudio, con el fin de realizar una comparación objetiva del comportamiento de los 3 protectores auditivos.

Tabla 29. Comparación de datos del fabricante

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Impact Sport fabricante (dB)	18,1	21,4	27,5	27,1	35,3	36,8	39,2
Impact Sport obtenida (dB)	-6,1	9,3	20,0	27,8	29,0	33,7	30,4
Sportac fabricante (dB)	12,1	17,9	27,0	26,8	30,5	38,3	36,4
Sportac obtenida (dB)	-5,5	9,1	19,9	27,3	28,4	36,0	32,4
TacticalPro fabricante (dB)	13,8	21,5	30,9	36,6	36,6	35,5	39,0
TacticalPro obtenida (dB)	-1,3	16,6	27,9	27,6	29,9	35,3	31,1

Se observa en frecuencias bajas tales como 125 y 250 Hz que los valores obtenidos en las mediciones objetivas varían de forma considerable respecto a los datos suministrados por el fabricante, sin embargo tal y como muestra la tabla, a partir de 500 Hz los valores se acercan a los datos suministrados, permitiendo confirmar su efectividad y fiabilidad de los niveles de atenuación acústico que se observan en las características de cada protector. Cabe resaltar que los protectores Peltor Tactical Pro, como se esperaba, en 250 Hz demuestran su efectividad al generar una atenuación acústica de 16,6 dB. Para los valores obtenidos para los protectores Howard Leight Impact Sport y Peltor Sportac Hearing se observan resultados similares, se atribuye ésta semejanza al diseño de su cápsula, la cual es muy similar en los dos modelos. Tanto pasiva como activamente, los protectores Peltor Tactical Pro obtuvieron los mejores resultados de la experimentación dentro de los estudios.

**Tabla 30. RESULTADOS PPROMEDIADOS DE PIL, AIL Y TIL
DE LOS 3 PROTECTORES AUDITIVOS EVALUADOS EN LAS PRUEBAS DE ESTUDIO.**

Frecuencia (Hz)	PIL Howard Leight Impact Sport (SPL (dB))	PIL Peltor SportTac Hearing Protector (SPL (dB))	PIL Peltor Tactical Pro Headsets (SPL (dB))	AIL Peltor SportTac Hearing Protector (SPL (dB))	AIL Howard Leight Impact Sport (SPL (dB))	AIL Peltor Tactical Pro Headsets (SPL (dB))	TIL Peltor SportTac Hearing Protector (SPL (dB))	TIL Howard Leight Impact Sport (SPL (dB))	TIL Peltor Tactical Pro Headsets (SPL (dB))
20	4,27333333	4,335	3,526667	0,97666667	-0,36	2,95499967	5,31166667	3,91333333	6,48166667
25	2,845	2,65333333	1,103333	0,67333334	1,88666667	2,30000033	3,32666667	4,73166667	3,40333333
31,5	0,22666667	0,42166667	-1,673333	1,335	3,38833333	9,33999967	1,75666667	3,615	7,66666667
40	0,53333333	-1,5266667	-1,941667	2,79666667	-0,1283333	8,28333367	1,27	0,405	6,34166667
50	-1,14	-2,465	-1,213333	1,19	2,30166667	1,40999967	-1,275	1,16166667	0,19666667
63	-0,895	-2,745	-3,911667	1,26833333	0,02666667	0,54000033	-1,4766667	-0,8683333	-3,3716667
80	-2,4591667	-1,9108333	-4,544167	-0,5333333	2,20833334	8,046667	-2,4441667	-0,2508333	3,5025
100	-3,2291667	-2,1358333	-3,635833	-0,7883333	-0,79	0,13999967	-2,9241667	-4,0191667	-3,4958333
125	-7,0383333	-4,8866667	-2,206667	-0,6683333	0,85	0,851667	-5,555	-6,1883333	-1,355
160	-5,685	-5,7833333	3,098333	0,315	2,01	-0,5299997	-5,4683333	-3,675	2,56833333
200	-1,4983333	-2,8166667	4,741667	1,21166667	-0,55	1,42999967	-1,605	-2,0483333	6,17166667
250	6,5175	8,60916667	12,979167	0,54666666	2,81333333	3,633333	9,15583333	9,33083333	16,6125
315	8,23583333	7,33416667	11,855833	4,185	2,43166667	5,42500033	11,5191667	10,6675	17,2808333
400	10,5591667	10,7308333	15,240833	5,855	6,97166666	8,07833367	16,5858333	17,5308333	23,3191667
500	14,575	10,3666667	16,033333	9,61666666	5,44666667	11,8900003	19,9833333	20,0216667	27,9233333
630	15,1008333	15,1825	19,4175	11,6283333	11,855	16,855	26,8108333	26,9558333	36,2725
800	16,9233333	16,9533333	22,966667	12,1566667	12,5883333	9,603333	29,11	29,5116667	32,57
1000	18,9666667	17,435	26,43	9,89	8,86166666	1,24	27,325	27,8283333	27,67
1250	19,245	18,1183333	26,503333	7,57166667	6,11166667	-0,2949997	25,69	25,3566667	26,2083333
1600	19,3183333	17,2416667	28,591667	11,175	8,5	0,863333	28,4166667	27,8183333	29,455
2000	19,4408333	20,5191667	28,415833	7,89333333	9,575	1,58000033	28,4125	29,0158333	29,9958333
2500	20,8391667	20,3008333	20,739167	5,92	6,76833333	5,83166633	26,2208333	27,6075	26,5708333
3150	25,2491667	21,6525	11,784167	8,035	3,82166666	16,6699997	29,6875	29,0708333	28,4541667
4000	22,1291667	27,2341667	14,4425	8,78166666	11,5983333	20,9116667	36,0158333	33,7275	35,3541667
5000	22,345	21,0666667	21,066667	18,4283333	13,0933333	17,4666663	39,495	35,4383333	38,5333333
6300	26,6733333	20,8983333	21,956667	8,24833334	1,29	5,52166633	29,1466667	27,9633333	27,4783333
8000	29,5591667	24,4858333	29,785833	7,97	0,88833333	1,35333367	32,4558333	30,4475	31,1391667
10000	29,4008333	24,3358333	28,9625	6,13666667	0,4	0,05	30,4725	29,8008333	29,0125
12500	30,3391667	28,1775	28,7925	1,97833333	0,16	-0,0166667	30,1558333	30,4991667	28,7758333
16000	14,1	14,465	14,648333	0,13666667	0,24666667	-0,2249997	14,6016667	14,3466667	14,4233333
20000	2,28833333	2,43666667	2,323333	-0,075	-0,2783333	-0,168333	2,36166667	2,01	2,155

6.1.2 ANÁLISIS COMPARATIVO PRUEBAS EN EL HELICOPTERO

6.1.2.1 Pérdida de inserción pasiva dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (PIL2)

Tabla 31. Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Frecuencia (Hz)	PIL2 Howard Leight Impact Sport (dB)	PIL2 Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	PIL2 Peltor Tactical Pro Headsets (dB)
20	9,17583333	9,67583333	9,6875
25	10,6858333	10,6608333	11,2408333
31,5	10,8183333	10,37	10,065
40	13,0033333	11,0716667	11,7566667
50	10,885	10,34	9,03
63	12,5508333	12,3208333	11,5375
80	7,1275	4,20583333	2,0825
100	6,44333333	4,085	7,07666667
125	6,81083333	7,65916667	12,9658333
160	12,2841667	10,4608333	18,4375
200	16,1166667	19,7633333	24,6583333
250	17,8591667	21,6208333	23,1491667
315	21,2575	23,7391667	28,8458333
400	24,1566667	25,3583333	32,4516667
500	26,975	31,12	31,595
630	27,9883333	32,1966667	32,6716667
800	28,3475	37,6908333	33,2808333
1000	28,535	35,5616667	34,6266667
1250	30,135	36,65	36,8316667
1600	28,995	33,9816667	37,1583333
2000	31,4008333	34,3841667	36,0475
2500	31,4216667	35,1566667	33,05
3150	36,0575	39,0891667	27,6575
4000	31,3308333	43,7391667	27,0908333
5000	36,2241667	37,5325	35,1441667
6300	38,685	37,8183333	34,1783333
8000	41,5033333	40,7766667	39,0066667
10000	43,4908333	43,2458333	39,9258333
12500	41,35	45,625	40,2533333
16000	39,3491667	40,9458333	37,1008333
20000	30,5458333	30,7841667	29,7525

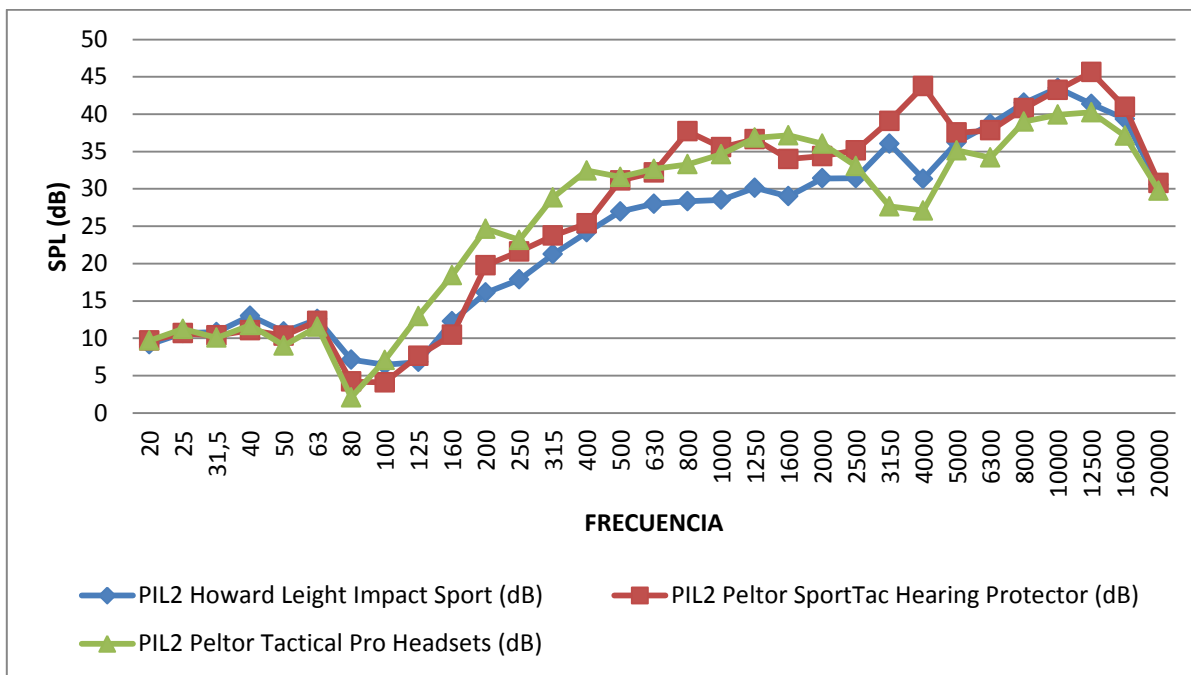


Figura 64 Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

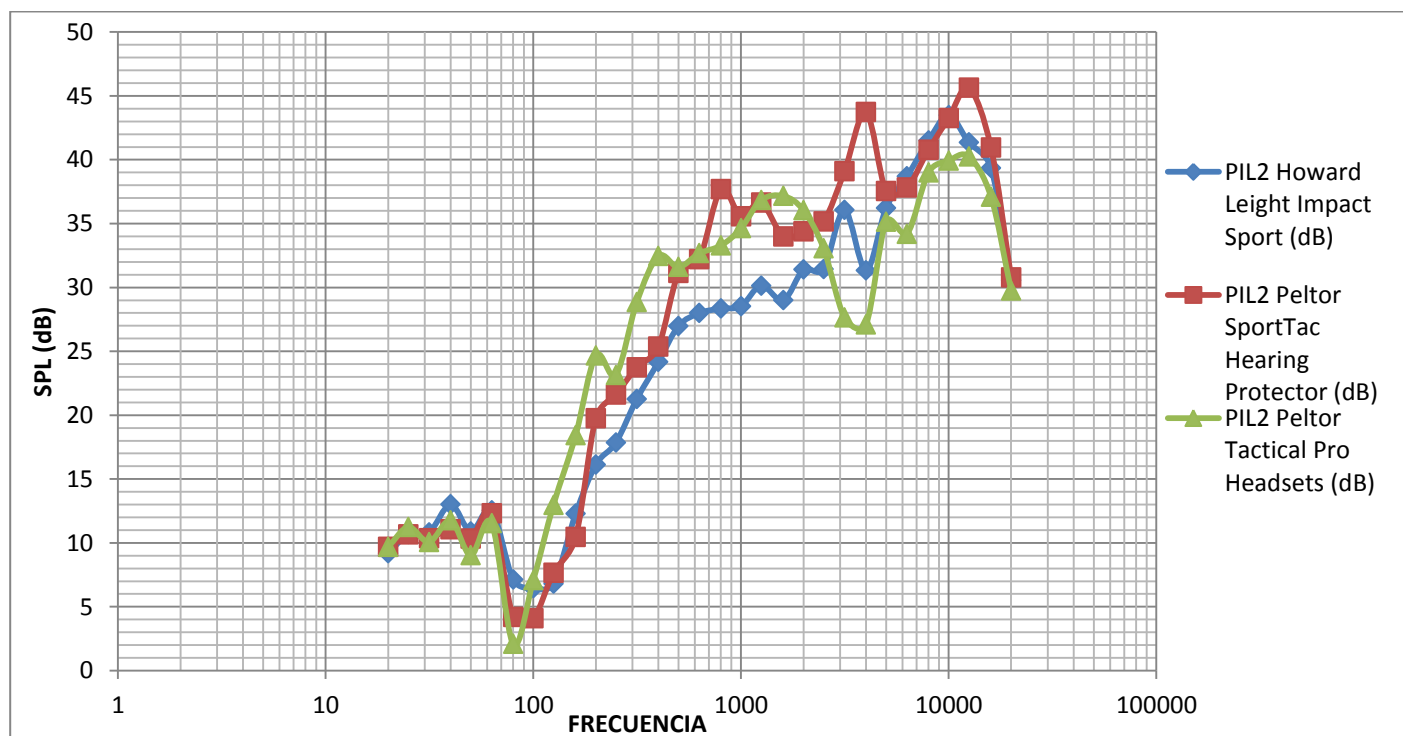


Figura 65. Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida por Inserción Pasiva (PIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

6.1.2.2 Pérdida de inserción activa dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (AIL2)

Tabla 32. Valores del Promedio de la Pérdida por inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Frecuencia (Hz)	AIL2 Howard Leight Impact Sport (dB)	AIL2 Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	AIL2 Peltor Tactical Pro Headsets (dB)
20	2,11666667	2,635	6,85
25	-0,02166667	1,70166667	5,96666667
31,5	-0,51833333	1,54333333	6,24
40	3,99166667	2,61	2,27833333
50	0,76166667	1,29833333	5,8325
63	-1,14833333	-3,98666667	7,4825
80	0,54	-2,385	3,51
100	3,54166667	0,94666667	7,33333333
125	-0,23833333	-0,94333333	1,41
160	-1,19166667	-0,13166667	0,82833333
200	1,11333333	-1,86666667	-0,33
250	3,75083333	-0,27	0,71666667
315	6,385	2,97166667	-0,70833333
400	8,78083333	9,12	2,75666667
500	14,2925	9,905	3,19333333
630	11,7641667	11,9316667	3,97833333
800	9,02666667	1,67166667	11,0591667
1000	7,39166667	-0,70166667	6,33333333
1250	7,62333333	-0,04833333	2,87333333
1600	9,94166667	4,145	6,21416667
2000	8,97	1,40666667	3,175
2500	4,15666667	0,43666667	7,32
3150	-4,17333333	3,1	19,2825
4000	-0,16666667	2,00833333	18,8316667
5000	3,76833333	13,745	13,04833333
6300	-1,07	0,05	9,19166667
8000	1,65	0,82666667	5,61833333
10000	-0,555	-2,84166667	3,89916667
12500	1,58	-4,64333333	5,54666667
16000	0,02166667	-1,09833333	3,24166667
20000	0,26333333	-0,24	0,9325

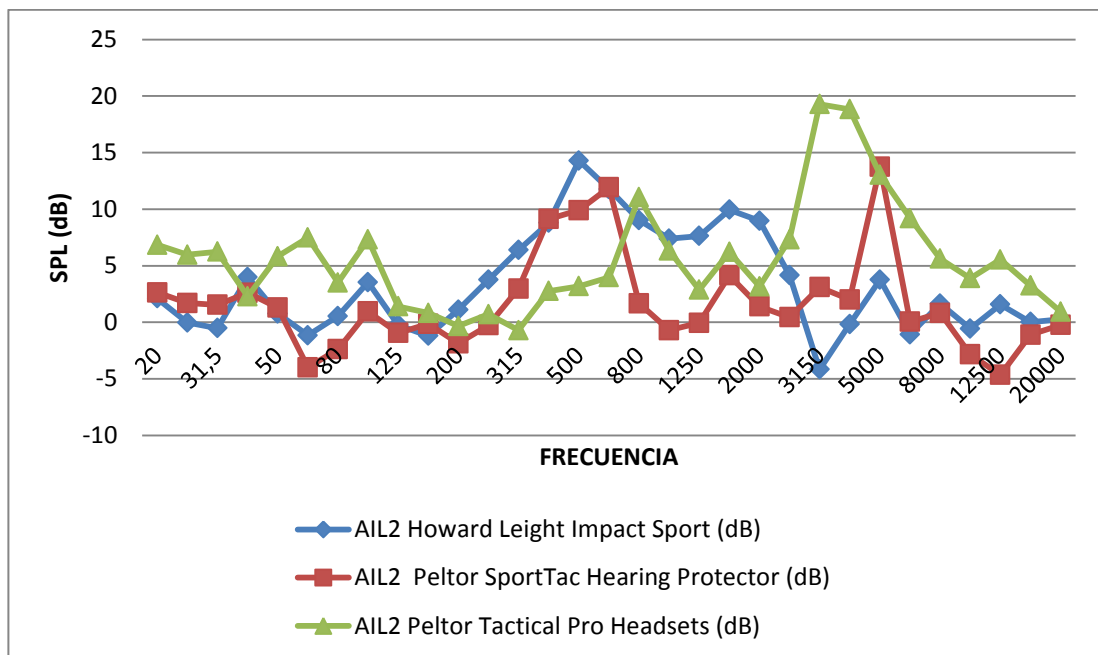


Figura 66. Valores del Promedio de la Pérdida por inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava

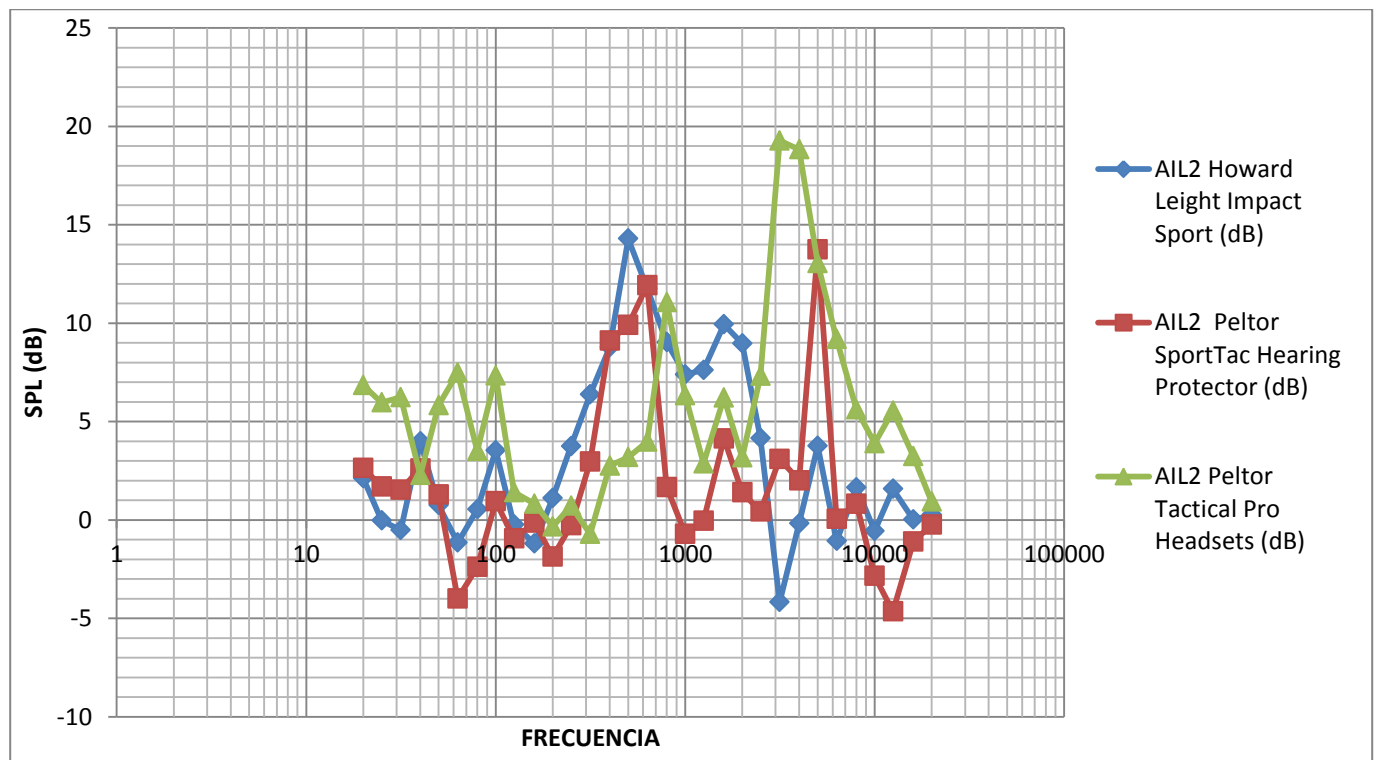


Figura 67. Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida por inserción activa (AIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

6.1.2.3 Pérdida de inserción total dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 (TIL2)

Tabla 33. Valores del Promedio de la Pérdida por inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

Frecuencia (Hz)	TIL2 Howard Leight Impact Sport (dB)	TIL2 Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	TIL2 Peltor Tactical Pro Headsets (dB)
20	11,2925	12,3108333	16,5375
25	10,6641667	12,3625	17,2075
31,5	10,3	11,9133333	16,305
40	16,995	13,6816667	14,035
50	11,6466667	11,6383333	14,8625
63	11,4025	8,33416667	19,02
80	7,6675	1,82083333	5,5925
100	9,985	5,03166667	14,41
125	6,5725	6,71583333	14,3758333
160	11,0925	10,3291667	19,2658333
200	17,23	17,8966667	24,3283333
250	21,61	21,3508333	23,8658333
315	27,6425	26,7108333	28,1375
400	32,9375	34,4783333	35,2083333
500	41,2675	41,025	34,7883333
630	39,7525	44,1283333	36,65
800	37,3741667	39,3625	44,34
1000	35,9266667	34,86	40,96
1250	37,7583333	36,6016667	39,705
1600	38,9366667	38,1266667	43,3725
2000	40,3708333	35,7908333	39,2225
2500	35,5783333	35,5933333	40,37
3150	31,8841667	42,1891667	46,94
4000	31,1641667	45,7475	45,9225
5000	39,9925	51,2775	48,1925
6300	37,615	37,8683333	43,37
8000	43,1533333	41,6033333	44,625
10000	42,9358333	40,4041667	43,825
12500	42,93	40,9816667	45,8
16000	39,3708333	39,8475	40,3425
20000	30,8091667	30,5441667	30,685

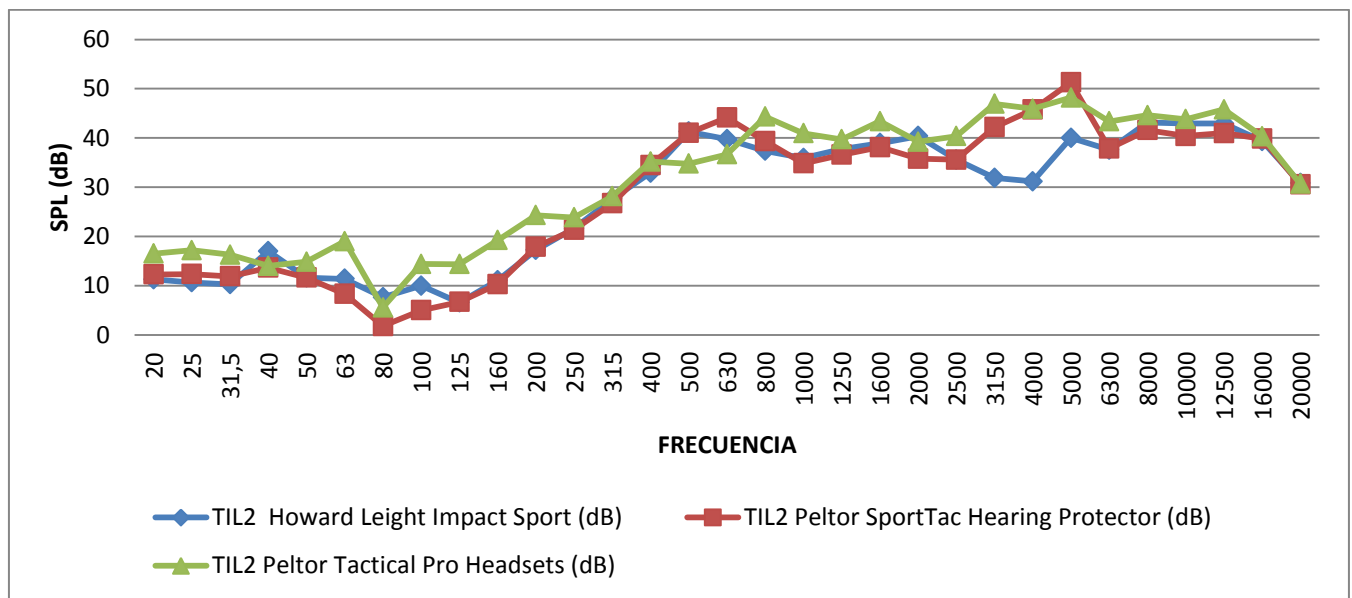


Figura 68. Valores del Promedio de la Pérdida por inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava

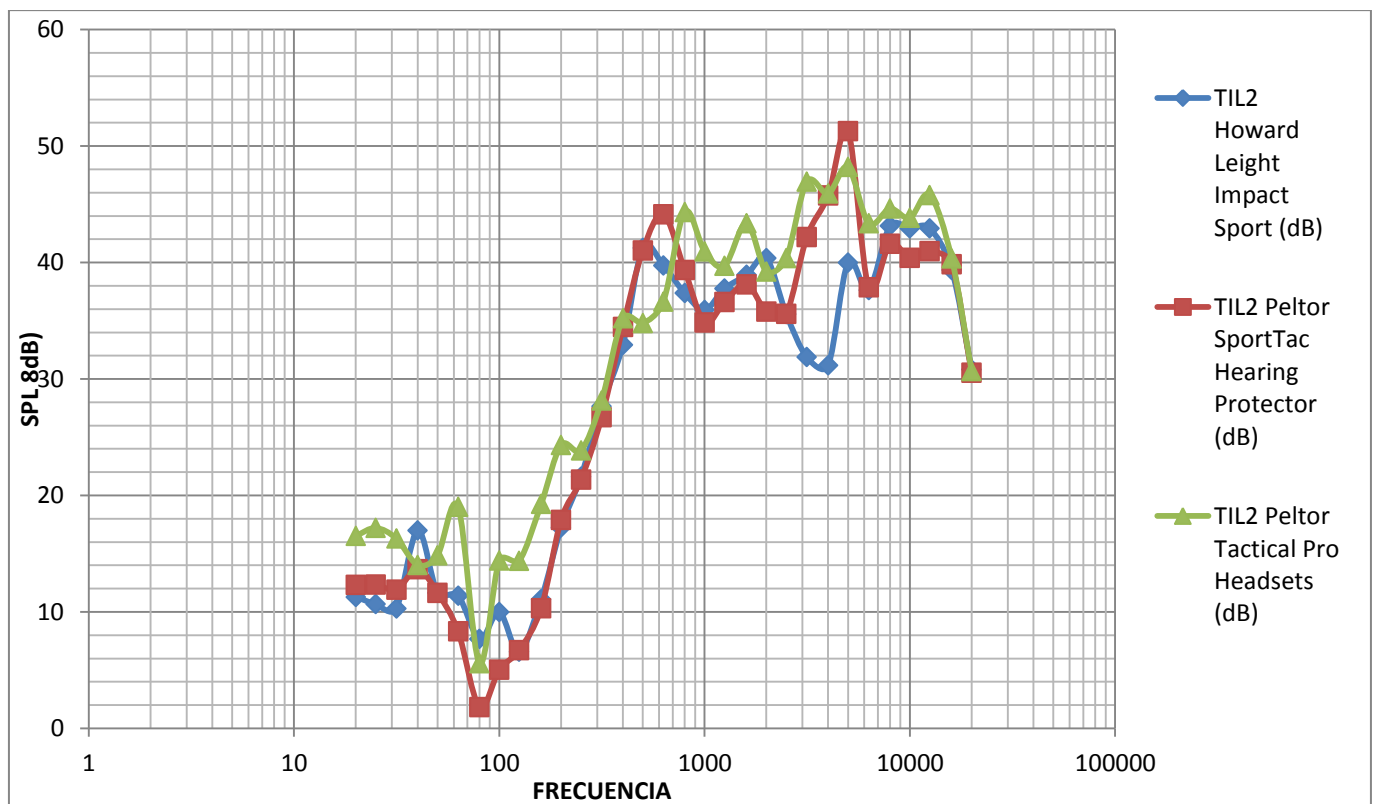


Figura 69 Gráfica logarítmica de los Valores del Promedio de la Pérdida por inserción total (TIL) para los tres dispositivos medidos: Howard Leight Impact Sport, Peltor SportTac Hearing y Peltor Tactical Pro Headsets, por tercios de octava.

6.1.2.4 ANÁLISIS

Al analizar los resultados del PIL se esperaba que por su diseño de cápsula y tamaño, el protector Peltor Tactical Pro fuera el de mejor rendimiento pero las mediciones dieron como resultado el dominio en atenuación pasiva en frecuencias medias altas por parte de los protectores SportTac Hearing entre 500Hz y 20KHz sobre los otros dos protectores con una diferencia máxima de 12 dB en 4 KHz. Sin embargo se puede apreciar que el valor de atenuación pasiva se ve reducido entre 2500 – 5000 Hz en el cual el Protector Peltor Tactical Pro se esperaba obtuviera los mejores resultados, pero crece a razón de 6 dB entre 100 y 200 Hz respecto a los otros dos protectores demostrando un mejor comportamiento en frecuencias bajas. No se obtuvieron resultados negativos, demostrando la efectividad del rendimiento de los 3 protectores de forma pasiva, esto debido al gran nivel de ruido generado al interior de la cabina del helicóptero Hughes 500. Se observa un comportamiento lineal de atenuación a medida que aumenta la frecuencia. Así mismo, los 3 protectores presentan su nivel más bajo de atenuación en el rango de frecuencias de 80 a 100 Hz.

Respecto a la atenuación por inserción activa (AIL) se observa una variación en el comportamiento de los datos obtenidos, ya que el protector Peltor Tactical Pro Headsets presenta los mayores valores de atenuación de frecuencias muy bajas entre 20 y 100 Hz, sin embargo en 80 Hz presenta un decaimiento considerable de 5 dB mientras que el protector Howard Leight Impact atenúa ésta frecuencia específica los mismos 5 dB más, y en el rango de 200 a 2200 Hz se aprecia el mejor rendimiento en la atenuación acústica por parte de éstos protectores. Los mayores valores de atenuación activa para el protector Peltor Tactical Pro se ubican en las frecuencias altas entre 3150 y 20000 Hz, con un valor máximo de 17,51dB en la frecuencia de 4 KHz sobre los otros dos protectores. Respecto al parámetro TIL, en general los dispositivos muestran un desempeño completo de reducción del ruido, cubriendo gran parte del espectro de frecuencia, donde la atenuación pasiva y activa se puede analizar de forma independiente y juntas se comportan como una solución eficaz para la atenuación del ruido. Los valores de los 3 protectores son muy cercanos, de comportamiento lineal y con aumento y disminución de niveles SPL en los mismos rangos de frecuencia. Se observa entonces que el nivel máximo de atenuación se registra en 5000 Hz donde el protector Peltor Sportac Hearing alcanza un nivel de atenuación 51,2775dB, 3 dB por encima del protector Peltro Tactical Sport y 12 dB respecto al protector Howard Leight Impact. Se observa un promedio de 14 dB de atenuación acústica de los 3 protectores en el rango de frecuencias de 20 a 63 Hz, así mismo los 3 protectores presentan el menor nivel de atenuación en 80Hz. El comportamiento de los protectores Howard Leight Impact Sport demostraron ser menos efectivos en el rango de 2500 a 6300 Hz.

**Tabla 34. RESULTADOS PPROMEDIADOS DE PIL, AIL Y TIL DE LOS 3 PROTECTORES
AUDITIVOS EVALUADOS DENTRO DE LA CABINA DEL HUGHES 5**

Frecuencia (Hz)	PIL2 Howard Leight Impact Sport (dB)	AIL2 Howard Leight Impact Sport (dB)	TIL2 Howard Leight Impact Sport (dB)	PIL2 Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	AIL2 Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	TIL2 Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	PIL2 Peltor Tactical Pro Headsets (dB)	AIL2 Peltor Tactical Pro Headsets (dB)	TIL2 Peltor Tactical Pro Headsets (dB)
20	9,17583333	2,11666667	11,2925	9,67583333	2,635	12,3108333	9,6875	6,85	16,5375
25	10,6858333	-0,0216667	10,6641667	10,6608333	1,70166667	12,3625	11,2408333	5,96666667	17,2075
31,5	10,8183333	-0,5183333	10,3	10,37	1,54333333	11,9133333	10,065	6,24	16,305
40	13,0033333	3,99166667	16,995	11,0716667	2,61	13,6816667	11,7566667	2,27833333	14,035
50	10,885	0,76166667	11,6466667	10,34	1,29833333	11,6383333	9,03	5,8325	14,8625
63	12,5508333	-1,1483333	11,4025	12,3208333	-3,9866667	8,33416667	11,5375	7,4825	19,02
80	7,1275	0,54	7,6675	4,20583333	-2,385	1,82083333	2,0825	3,51	5,5925
100	6,44333333	3,54166667	9,985	4,085	0,94666667	5,03166667	7,07666667	7,33333333	14,41
125	6,81083333	-0,2383333	6,5725	7,65916667	-0,9433333	6,71583333	12,9658333	1,41	14,3758333
160	12,2841667	-1,1916667	11,0925	10,4608333	-0,1316667	10,3291667	18,4375	0,82833333	19,2658333
200	16,1166667	1,11333333	17,23	19,7633333	-1,8666667	17,8966667	24,6583333	-0,33	24,3283333
250	17,8591667	3,75083333	21,61	21,6208333	-0,27	21,3508333	23,1491667	0,71666667	23,8658333
315	21,2575	6,385	27,6425	23,7391667	2,97166667	26,7108333	28,8458333	-0,7083333	28,1375
400	24,1566667	8,78083333	32,9375	25,3583333	9,12	34,4783333	32,4516667	2,75666667	35,2083333
500	26,975	14,2925	41,2675	31,12	9,905	41,025	31,595	3,19333333	34,7883333
630	27,9883333	11,7641667	39,7525	32,1966667	11,9316667	44,1283333	32,6716667	3,97833333	36,65
800	28,3475	9,02666667	37,3741667	37,6908333	1,67166667	39,3625	33,2808333	11,0591667	44,34
1000	28,535	7,39166667	35,9266667	35,5616667	-0,7016667	34,86	34,6266667	6,33333333	40,96
1250	30,135	7,62333333	37,7583333	36,65	-0,0483333	36,6016667	36,8316667	2,87333333	39,705
1600	28,995	9,94166667	38,9366667	33,9816667	4,145	38,1266667	37,1583333	6,21416667	43,3725
2000	31,4008333	8,97	40,3708333	34,3841667	1,40666667	35,7908333	36,0475	3,175	39,2225
2500	31,4216667	4,15666667	35,5783333	35,1566667	0,43666667	35,5933333	33,05	7,32	40,37
3150	36,0575	-4,1733333	31,8841667	39,0891667	3,1	42,1891667	27,6575	19,2825	46,94
4000	31,3308333	-0,1666667	31,1641667	43,7391667	2,00833333	45,7475	27,0908333	18,8316667	45,9225
5000	36,2241667	3,76833333	39,9925	37,5325	13,745	51,2775	35,1441667	13,0483333	48,1925
6300	38,685	-1,07	37,615	37,8183333	0,05	37,8683333	34,1783333	9,19166667	43,37
8000	41,5033333	1,65	43,1533333	40,7766667	0,82666667	41,6033333	39,0066667	5,61833333	44,625
10000	43,4908333	-0,555	42,9358333	43,2458333	-2,8416667	40,4041667	39,9258333	3,89916667	43,825
12500	41,35	1,58	42,93	45,625	-4,6433333	40,9816667	40,2533333	5,54666667	45,8
16000	39,3491667	0,02166667	39,3708333	40,9458333	-1,0983333	39,8475	37,1008333	3,24166667	40,3425
20000	30,5458333	0,26333333	30,8091667	30,7841667	-0,24	30,5441667	29,7525	0,9325	30,685

6. CONCLUSIONES

- El método de medición por medio del ATF resultó ser bastante efectivo para el registro y análisis de los datos obtenidos puesto que se recomienda como metodología para diagnosticar el correcto funcionamiento de éste tipo de protectores, es decir, se utiliza como control de calidad, lo cual radica en la parte inicial de la investigación. El diseño y construcción del ATF fue basado en la **Norma UNE-EN ISO 4869-3**, la cual especifica las dimensiones y características físicas necesarias para la construcción del dispositivo de medición. Así mismo la secuencia utilizada según norma ANSI/ASA S12.42: “ACAC” (Abierto Cerrado, Abierto Cerrado), permitió definir un protocolo para mediciones objetivas y obtener datos confiables tanto en las mediciones de estudio como en las mediciones dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500.
- El análisis de los resultados obtenidos en el estudio C de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá, permitieron observar y comparar el desempeño de los 3 protectores en condiciones acústicas aptas para determinar su desempeño en atenuación acústica. La pérdida total por inserción de los 3 protectores auditivos resultó eficiente en frecuencias medias altas, sin embargo en frecuencias bajas comprendidas entre 50 y 200 Hz se observan valores negativos producto de la construcción e incremento percibido dentro del ATF. El protector Peltor Tactical Pro presentar el mejor desempeño en atenuación acústica en todo el espectro de frecuencias entre 160 Hz y 3150 Hz. El protector Peltor SportTac obtuvo el máximo nivel de atenuación en la frecuencia de 5 KHz con un valor de 39,495 dB.

En cuanto a las condiciones pasivas de los 3 protectores, los desempeños del Howard Leight Impact Sport y El protector Peltor SportTac Hearing se comportan de manera similar con problemas en frecuencias bajas, pese a que los diseños de las capsulas son diferentes. El Protector Peltor Tactical Pro se consideró como el protector con mayor atenuación total, después de analizar el comportamiento activo (con una reducción máxima de 20dB), pasivo (con una reducción máxima de 28dB) y activo+pasivo (con una reducción máxima de 38dB).

- Comparando los datos suministrados por el fabricante y los resultados obtenidos luego de las mediciones y el análisis, los protectores Howard Impact Sport (gama Baja) atenúan entre 27dB y 39 dB para frecuencias medias-altas y entre 18 dB y 23 dB para frecuencias bajas, en el caso de la frecuencia de 125 Hz la

diferencia entre los resultados obtenidos y los suministrados por el fabricante es de 24 dB, esto se debe a los materiales con los cuales fue construido el ATF y esto genera un margen de error un poco alto para esta frecuencia, en el resto de frecuencias los resultados fueron los esperados teniendo como referencia la tabla del fabricante.

- Los protectores Peltor Sportac (gama media) atenúan entre 26 dB y 36 dB para frecuencias medias-altas y entre 12 dB y 27 dB para frecuencias bajas, en la frecuencia de 125 Hz la diferencia entre los datos suministrados por el fabricante y los resultados obtenidos en la práctica es de 17 dB esto se debe a lo mencionado en el caso anterior, según las especificaciones por defecto de los protectores y los resultados obtenidos la diferencia entre los mismos es de 4 dB aproximadamente y este es también el valor de la desviación estándar promedio, es decir los protectores Sportac atenúan lo que se especifica en su respectiva tabla.
- Los protectores Peltor TacticalPro (gama alta) atenúan entre 36 dB y 39 dB para frecuencias medias-altas, para este caso los que más atenúan y para frecuencias bajas entre 13 dB y 30 dB, en el caso de la frecuencia de 125 Hz la diferencia es de 15 dB, este es el protector que tiene mayor nivel de atenuación en todo el ancho del espectro, y con una menor desviación estándar en frecuencias bajas, es decir en este caso los valores de atenuación que se tienen en frecuencias bajas son los más cercanos a los atenuados realmente.
- La medición del helicóptero Hughes 500 registró que el valor SPL promedio del helicóptero se encuentra en 98,26 dB con frecuencia central de 40 Hz la cual registró un nivel de 110,775 dB, y según la Resolución 8321 del Ministerio de Salud permite trabajar bajo éste nivel de presión sonora por un intervalo de tiempo de 2 horas diarias. Es decir, no es recomendable para un piloto exceder éste tiempo de exposición ya que puede afectar su desempeño laboral y su condición auditiva. Los resultados objetivos demostraron el alto nivel de contaminación auditiva generada al interior de la cabina por el rotor principal, ya que subjetivamente, se percibía bastante ruido dentro de la misma.
- La secuencia utilizada según norma ANSI/ASA S12.42: “ACAC” (Abierto Cerrado, Abierto Cerrado) para la medición de la atenuación acústica de los protectores dentro de la cabina confirmó por medio de resultados objetivos la hipótesis acerca de que dispositivo funcionaría mejor.

- El protector Howard Leight Impact Sport se comportó de forma adecuada aportando niveles de cancelación altos, sin embargo por su diseño no es recomendado para éste tipo de actividades. El protector SporTac Hearing presentó el mejor comportamiento pasivo al obtener una reducción máxima de 45,25 dB en frecuencias altas.
- Puesto que el análisis de la investigación se centra en el comportamiento en frecuencias bajas y sus niveles de atenuación el protector Peltor Tactical Sport con su diseño de cápsula robusto, cómodo y de gran tamaño obtuvo los mayores niveles de atenuación total a través de todo el espectro, en el que tanto en frecuencias bajas dentro del rango de 20 a 63 Hz obtuvieron una reducción de 16,3 dB en promedio, principalmente en la frecuencia central del motor que está a 40 Hz, se evidenció una reducción de 14,03 dB, y en frecuencias medias altas comprendidas entre 1 KHz y 20 KHz con un valor promedio de 42,347 dB, lo cual es una atenuación bastante significativa dentro de la cabina.
- Se observaron diferencias en los resultados dentro del estudio C de la universidad de San Buenaventura y los datos obtenidos dentro de la cabina del helicóptero Hughes 500 puesto que por más que se buscará simular o recrear el sonido del motor por medio de ruido rosa a niveles de propagación similares a los producidos por un helicóptero que se investigaron, éste presenta un comportamiento homogéneo mientras que el ruido de la aeronave depende de condiciones climáticas, mantenimiento del motor y modelo del mismo, por ende los resultados de atenuación mostraron diferencias significativas de hasta 25 dB en el rango de frecuencias bajas, sin embargo en ambas condiciones se demostró la efectividad del control activo de ruido para controlar éste rango de frecuencias. Al comparar el comportamiento de frecuencias altas, los resultados fueron similares en ambas mediciones al ser un rango fácil de atenuar por medio de tácticas pasivas.

7. BIBLIOGRAFÍA

Referencias:

- (1) B. R. Alford et al, **“La tolerancia humana a la baja frecuencia de sonido”** (Departamento de Otorrinolaringología de la Universidad de Texas, en Houston)
- (2) **Human auditory response to intense infrasound**. 498 N. BRONER 51. CW NIXON, *Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem*.
- (3) DL JOHNSON, 1973 **“Desplazamiento temporal del umbral auditivo humano (TTS) y sus consecuencias para la salud”**, *Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem*.
- (4) REYES Bustamante, Joel, **“EXPOSICION A RUIDO Y VIBRACIONES EN AVIACION”**, Tecnólogo Médico
- (5) Coermann, RR, (1962). **“The mechanical impedance of the human body in sitting and standing position at low frequencies”**, pag 877.
- (6) ROTONDO, HUMBERTO, **“MANUAL DE PSIQUIATRÍA”**, Perales, Alberto, ed.
- (7) Dentro de una serie de dolencias, notar un cerebro fuera de ritmo, Sandra Blakeslee, 02 de diciembre de 2008.
- (8) Goede, **Revista Aeronáutica**, Núm. 188 (May.-Ago. (2003))

Texto y Normatividad

- ⊙ B. R. Alford et al, **“La tolerancia humana a la baja frecuencia de sonido”** (Departamento de Otorrinolaringología de la Universidad de Texas, en Houston)
- ⊙ **Human auditory response to intense infrasound**. 498 N. BRONER 51.
- ⊙ CW NIXON, *Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem*.
- ⊙ DL JOHNSON, 1973 **“Desplazamiento temporal del umbral auditivo humano (TTS) y sus consecuencias para la salud”**, *Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem*.
- ⊙ REYES Bustamante, Joel, **“EXPOSICION A RUIDO Y VIBRACIONES EN AVIACION”**, Tecnólogo Médico
- ⊙ Coermann, RR, (1962). **“The mechanical impedance of the human body in sitting and standing position at low frequencies”**, pag 877.
- ⊙ ROTONDO, HUMBERTO, **“MANUAL DE PSIQUIATRÍA”**, Perales, Alberto, ed.

- ⊙ *Dentro de una serie de dolencias, notar un cerebro fuera de ritmo, Sandra Blakeslee, 02 de diciembre de 2008.*
- ⊙ Goede, **Revista Aeronáutica**, Núm. 188 (May.-Ago. (2003))
- ⊙ **ISO 1996: Acústica** - Descripción y medida del ruido ambiental.
- ⊙ **ISO 1999: Acústica** - Determinación de la exposición a ruido laboral y estimación de la pérdida auditiva inducida por ruido.
- ⊙ **UNE_74023=1992** DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO EN EL TRABAJO Y ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS AUDITIVAS INDUCIDAS POR EL RUIDO.
- ⊙ **UNE-EN_ISO_7731=2008** Señales acústicas de peligro en lugares de trabajo.
- ⊙ **UNE EN 24869-I** PROTECTORES AUDITIVOS CONTRA EL RUIDO Parte 1: Método subjetivo de medida (ISO 4869- 1: 1990)
- ⊙ **UNE-EN ISO 4869-3** Protectores auditivos contra el ruido Parte 3: Medición de la atenuación acústica de los protectores de tipo orejera mediante un montaje para pruebas acústicas.
- ⊙ *Microphone-in-Real-Ear*, (Micrófono en el Oído Real). **Norma ANSI/ASA S12.42.**
- ⊙ **ISO/TC 43/SC 1/WG 17 N 175** 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.
- ⊙ **ISO/TC 43/SC 1 N 1726** - Methods of Estimating Effective A-Weighted Sound Pressure Levels When Hearing Protectors are Worn.

ANEXO 1

**Tabla 35. RESULTADOS MEDICIÓN DE NIVELES SPL CON LOS PROTECTORES MEDIANTE PRUEBAS ACÚSTICAS
EN ESTUDIO DE GRABACIÓN 5.1 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA**

Frecuencia (Hz)	Sin nada Total SPL (dB)	Total Off Howard Leight Impact Sport (dB)	Total On Howard Leight Impact Sport (dB)	Total OFF Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	Total ON Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	Total Off Peltor Tactical Pro Headsets (dB)	Total On Peltor Tactical Pro Headsets (dB)
20	38,005	33,73166667	34,09166667	33,67	32,69333333	34,478333	31,52333333
25	38,39	35,545	33,65833333	35,73666667	35,06333333	37,286667	34,98666667
31,5	38,025	37,79833333	34,41	37,60333333	36,26833333	39,698333	30,35833333
40	38,75	38,21666667	38,345	40,27666667	37,48	40,691667	32,40833333
50	50,99	52,13	49,82833333	53,455	52,265	52,203333	50,79333333
63	47,805	48,7	48,67333333	50,55	49,28166667	51,716667	51,17666667
80	63,6375	66,09666667	63,88833333	65,54833333	66,08166667	68,181667	60,135
100	75,5475	78,77666667	79,56666667	77,68333333	78,47166667	79,183333	79,04333333
125	73,83	80,86833333	80,01833333	78,71666667	79,385	76,036667	75,185
160	77,315	83	80,99	83,09833333	82,78333333	74,216667	74,74666667
200	77,895	79,39333333	79,94333333	80,71166667	79,5	73,153333	71,72333333
250	82,1825	75,665	72,85166667	73,57333333	73,02666667	69,203333	65,57
315	75,3525	67,11666667	64,685	68,01833333	63,83333333	63,496667	58,07166667
400	75,5925	65,03333333	58,06166667	64,86166667	59,00666667	60,351667	52,27333333
500	74,39	59,815	54,36833333	64,02333333	54,40666667	58,356667	46,46666667
630	71,9875	56,88666667	45,03166667	56,805	45,17666667	52,57	35,715
800	73,55	56,62666667	44,03833333	56,59666667	44,44	50,583333	40,98
1000	77,06	58,09333333	49,23166667	59,625	49,735	50,63	49,39
1250	78,555	59,31	53,19833333	60,43666667	52,865	52,051667	52,34666667
1600	78,085	58,76666667	50,26666667	60,84333333	49,66833333	49,493333	48,63
2000	77,9775	58,53666667	48,96166667	57,45833333	49,565	49,561667	47,98166667
2500	76,5225	55,68333333	48,915	56,22166667	50,30166667	55,783333	49,95166667
3150	74,1725	48,92333333	45,10166667	52,52	44,485	62,388333	45,71833333
4000	77,6825	55,55333333	43,955	50,44833333	41,66666667	63,24	42,32833333
5000	74,79	52,445	39,35166667	53,72333333	35,295	53,723333	36,25666667
6300	76,165	49,49166667	48,20166667	55,26666667	47,01833333	54,208333	48,68666667
8000	73,4725	43,91333333	43,025	48,98666667	41,01666667	43,686667	42,33333333
10000	71,1825	41,78166667	41,38166667	46,84666667	40,71	42,22	42,17
12500	60,8275	30,48833333	30,32833333	117 32,65	30,67166667	32,035	32,05166667
16000	38,07	23,97	23,72333333	23,605	23,46833333	23,421667	23,64666667
20000	25,75	23,46166667	23,74	23,31333333	23,38833333	23,426667	23,595

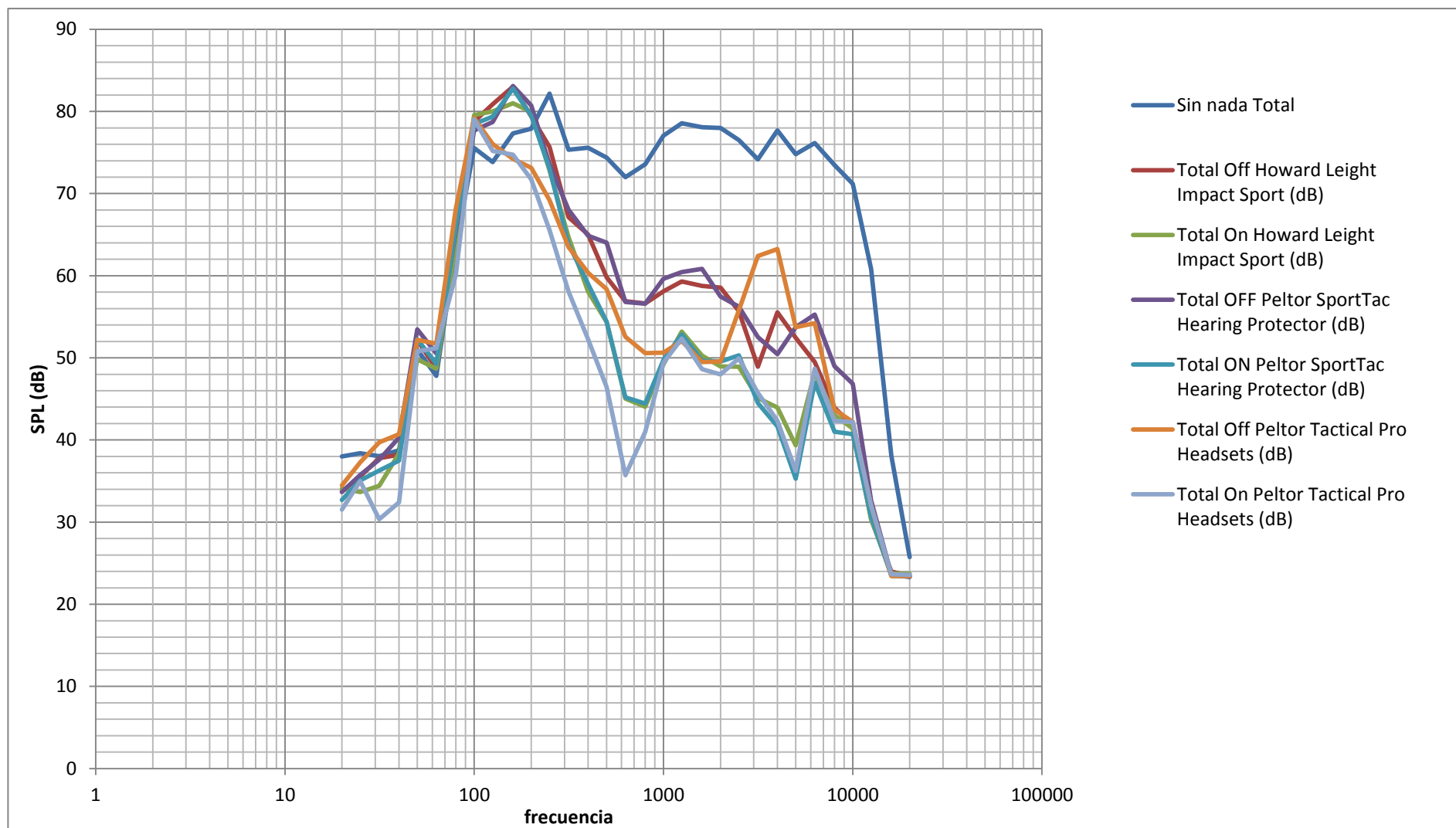


Figura 70. Resultados medición de niveles spl con los protectores mediante pruebas acústicas en estudio de grabación 5.1 universidad de san buenaventura.

ANEXO 2

RESULTADOS MEDICIÓN DE NIVELES SPL PROMEDIADOS DENTRO DE LA CABINA DEL HUGHES 500

TABLA 36. Resultados medición de niveles spl promediados dentro de la cabina del Hughes 500

Frecuencia (Hz)	SPL (dB)
20	97,5928
25	97,3378
31,5	102,4153
40	114,4153
50	108,9053
63	105,5078
80	104,7778
100	105,1753
125	108,4428
160	109,4578
200	91,2879
250	104,5078
315	105,7228
400	104,8153
500	104,1303
630	91,3779
800	89,6304
1000	87,9229
1250	107,5277
1600	105,3427
2000	113,4852
2500	98,6427
3150	100,4795
4000	99,2945
5000	97,7695
6300	95,957
8000	90,492
10000	89,5545
12500	86,332
16000	68,4545
20000	56,4695

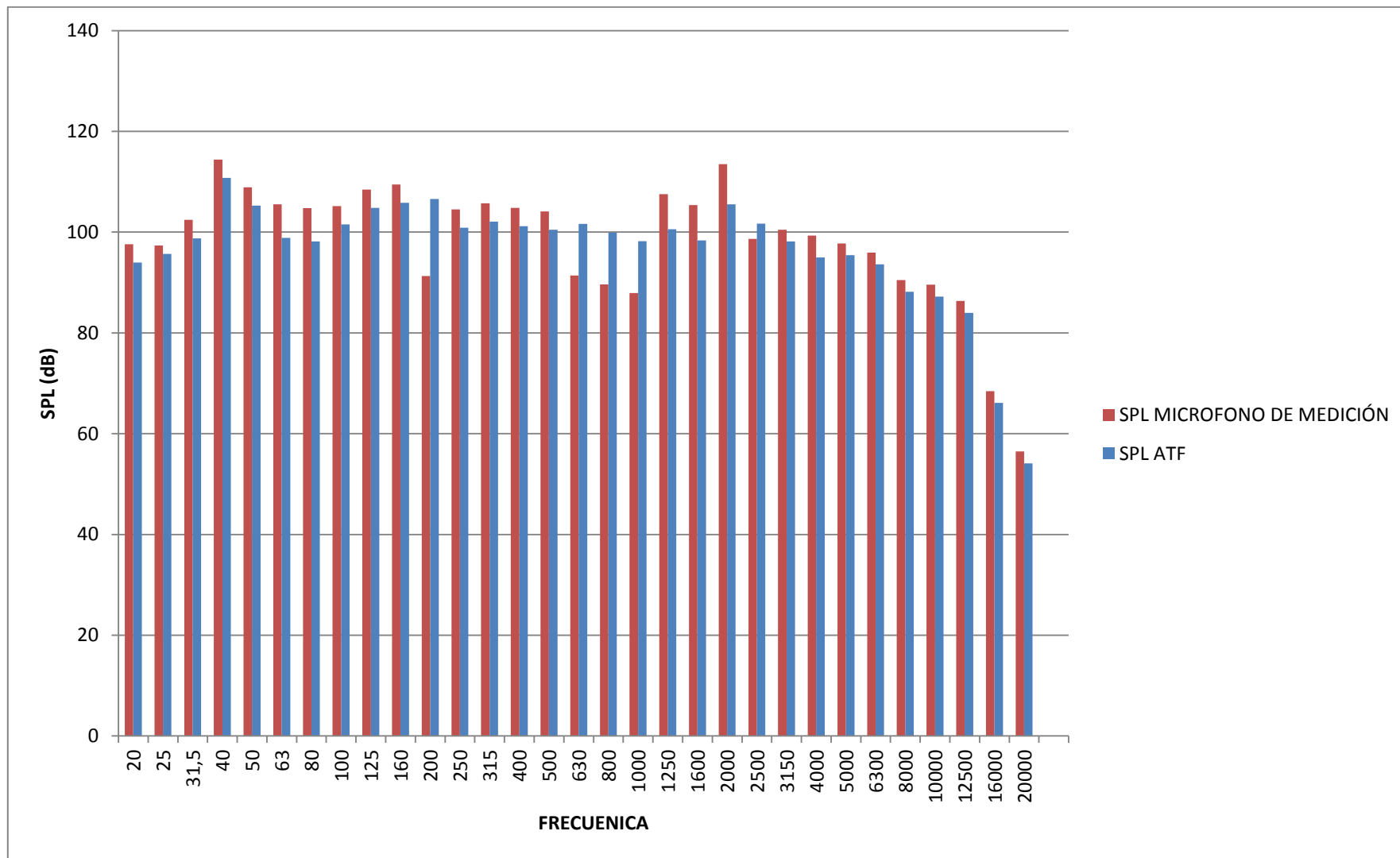


Figura 71. Resultados medición de niveles spl promediados dentro de la cabina del Hughes 500

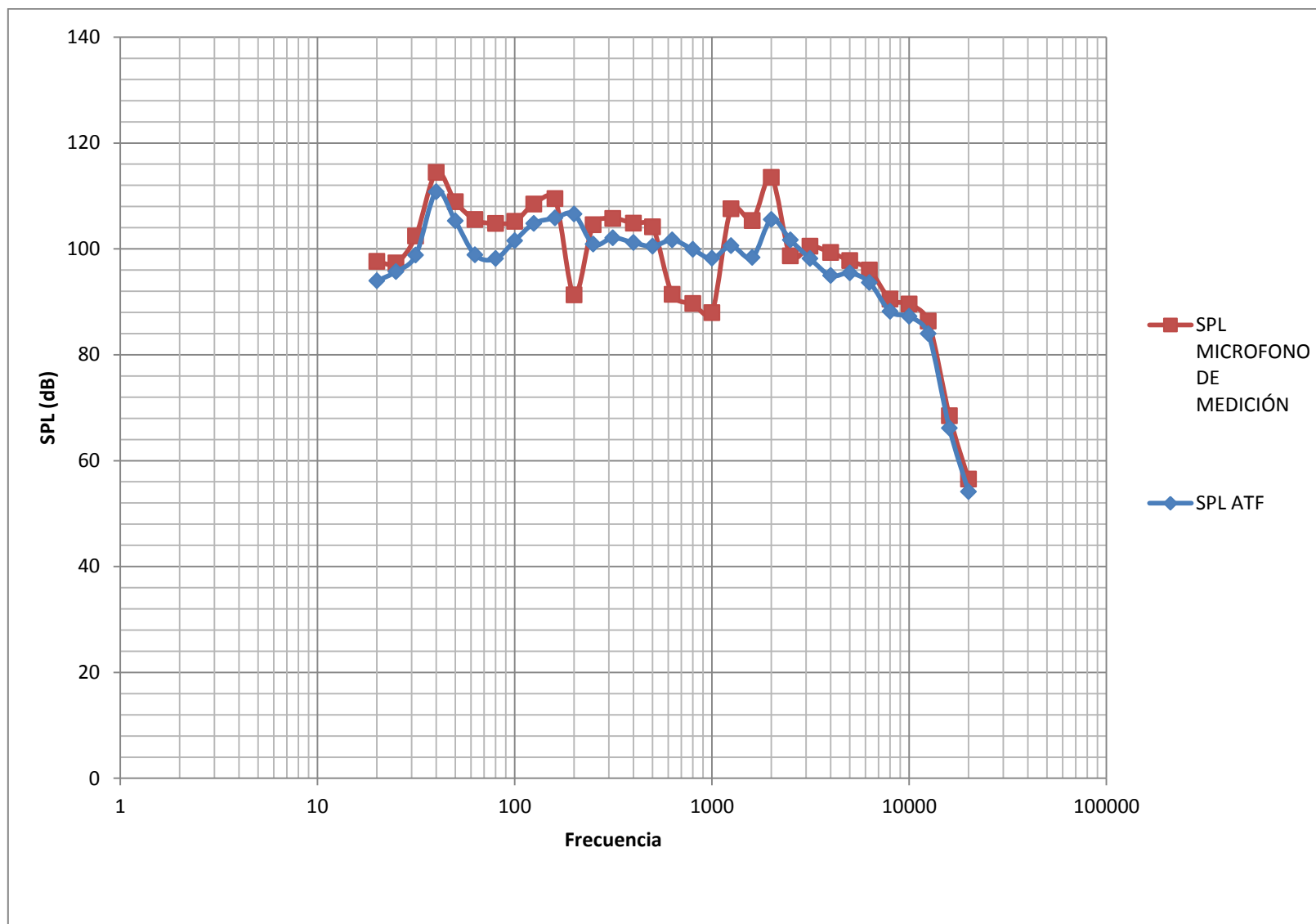


Figura 72. Resultados medición de niveles spl promediados dentro de la cabina del Hughes 500

ANEXO 3

Tabla 37. RESULTADOS MEDICIÓN DE NIVELES SPL CON LOS PROTECTORES MEDIANTE PRUEBAS ACÚSTICAS DENTRO DE LA CABINA DEL HUGUES 500 EN VUELO.

Frecuencia (Hz)	Total Off Howard Leight Impact Sport (dB)	Total On Howard Leight Impact Sport (dB)	Total OFF Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	Total ON Peltor SportTac Hearing Protector (dB)	Total Off Peltor Tactical Pro Headsets (dB)	Total On Peltor Tactical Pro Headsets (dB)
20	84,7766667	82,66	84,2766667	81,6416667	84,265	77,415
25	85,0116667	85,0333333	85,0366667	83,335	84,4566667	78,49
31,5	87,9566667	88,475	88,405	86,8616667	88,71	82,47
40	97,7716667	93,78	99,7033333	97,0933333	99,0183333	96,74
50	94,38	93,6183333	94,925	93,6266667	96,235	90,4025
63	86,3166667	87,465	86,5466667	90,5333333	87,33	79,8475
80	91,01	90,47	93,9316667	96,3166667	96,055	92,545
100	95,0916667	91,55	97,45	96,5033333	94,4583333	87,125
125	97,9916667	98,23	97,1433333	98,0866667	91,8366667	90,4266667
160	93,5333333	94,725	95,3566667	95,4883333	87,38	86,5516667
200	90,4433333	89,33	86,7966667	88,6633333	81,9016667	82,2316667
250	83,0083333	79,2575	79,2466667	79,5166667	77,7183333	77,0016667
315	80,825	74,44	78,3433333	75,3716667	73,2366667	73,945
400	77,0183333	68,2375	75,8166667	66,6966667	68,7233333	65,9666667
500	73,515	59,2225	69,37	59,465	68,895	65,7016667
630	73,6616667	61,8975	69,4533333	57,5216667	68,9783333	65
800	71,555	62,5283333	62,2116667	60,54	66,6216667	55,5625
1000	69,66	62,2683333	62,6333333	63,335	63,5683333	57,235
1250	70,425	62,8016667	63,91	63,9583333	63,7283333	60,855
1600	69,38	59,4383333	64,3933333	60,2483333	61,2166667	55,0025
2000	74,1166667	65,1466667	71,1333333	69,7266667	69,47	66,295
2500	70,2533333	66,0966667	66,5183333	66,0816667	68,625	61,305
3150	62,08	66,2533333	59,0483333	55,9483333	70,48	51,1975
4000	63,6216667	63,7883333	51,2133333	49,205	67,8616667	49,03
5000	59,2033333	55,435	57,895	44,15	60,2833333	47,235
6300	54,93	56	55,7966667	55,7466667	59,4366667	50,245
8000	46,6466667	44,9966667	47,3733333	46,5466667	49,1433333	43,525
10000	43,7216667	44,2766667	43,9666667	46,8083333	47,2866667	43,3875
12500	42,64	41,06	38,365	43,0083333	43,7366667	38,19
16000	26,7633333	26,7416667	25,1666667	26,265	29,0116667	25,77
20000	23,5816667	23,3183333	23,3433333	23,5833333	24,375	23,4425

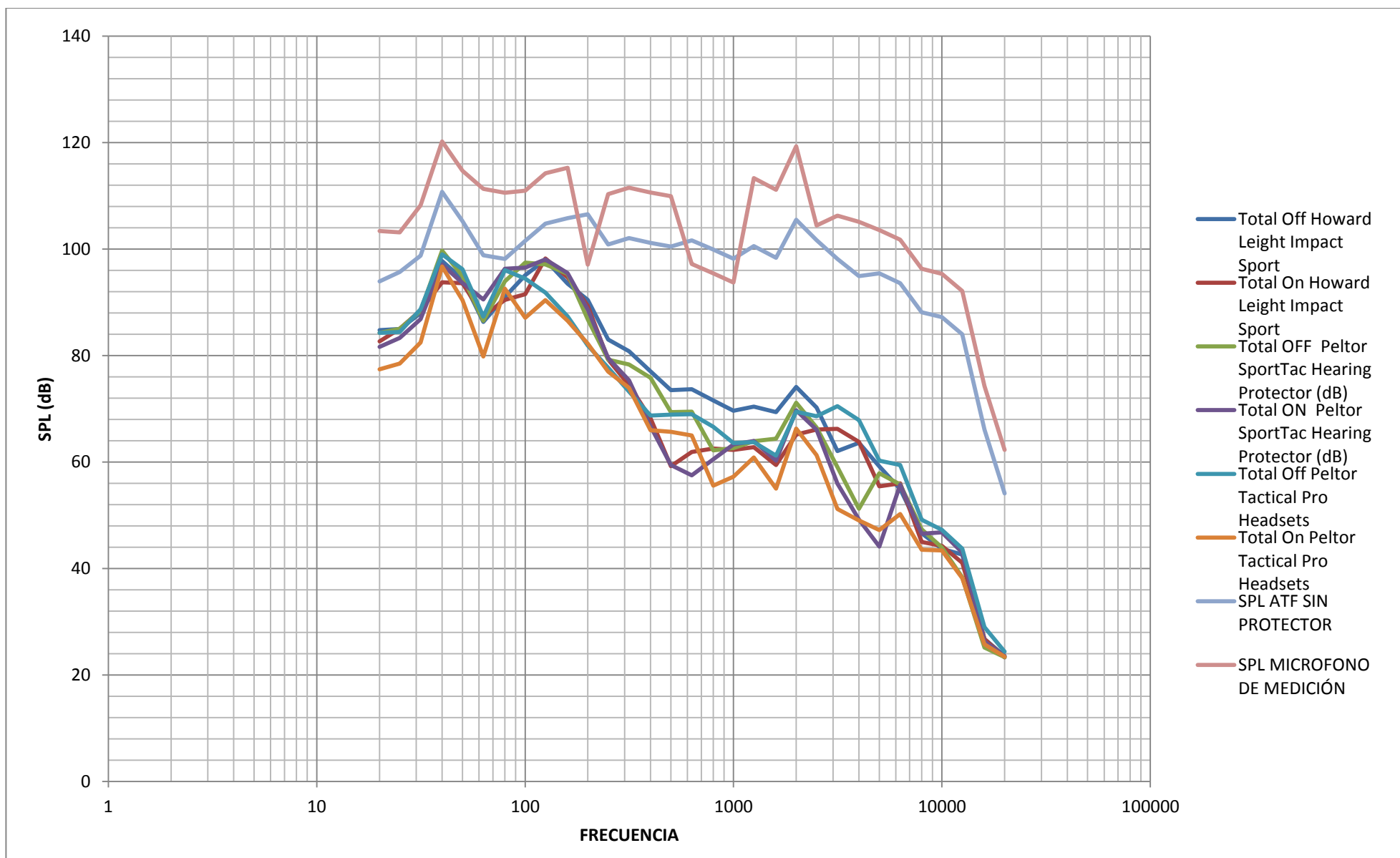


Figura 73. Resultados medición de niveles spl con los protectores mediante pruebas acústicas dentro de la cabina del hugues 500 en vuelo

ANEXO 4

Howard Leight Impact Sport



NOISE REDUCTION RATING

NRR 22 provides dependable attenuation in a sporting environment.

SOUND AMPLIFICATION

Ambient sound is amplified safely to 82dB to deliver superior directional sound quality in stereo.

AUTOMATIC NOISE BLOCKING PROTECTION

Amplification automatically shuts off at 82dB, attenuating hazardous impulse and continuous noise.

CONTEMPORARY STYLE

Black leatherette headband with hunter green earcups.

SLIMLINE EARCUP DESIGN

Sleek, extremely low profile earcup design with cut-out allows for full clearance of firearm stock.

EASY HEIGHT ADJUSTMENT

Padded headband adjusts for a secure, non-slip fit.

ONE VOLUME CONTROL

Single knob control for on/off and volume. Power automatically shuts off after 4 hours of use.

EXTERNAL AUDIO INPUT

Equipped with an external input that allows you to connect to your own audio source.

LOW ENERGY-CONSUMING EARMUFF

Battery life of up to 350 hours. Automatic shutt-off after 4 hours. Includes 2 AAA batteries. Snap-on lid for quick and easy battery replacement.

CONVENIENT STORAGE

Compact folding design for convenient storage.

Ordering Information + Attenuation Data

Impact™ Sport	SKU: R-01526	NRR 22 Canada B (L)					Packaging: Clamshell (5 ea. per Case)				Hygiene Kit SKU: 1015280		
Frequency/Hz	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000				
Mean Attn.	18.1	21.4	23.5	27.5	27.1	35.3	36.8	29.6	39.2				
Std. Dev.	2.7	1.9	1.9	2.0	1.8	3.6	3.8	3.0	3.9				

ANEXO 5

Peltor SportTac Hearing Protector



Model	Frequency ²	125	250	500	1000	2000	4000	8000	H	M	L	SNR
SportTac	Mean att. ³	12.1	17.9	27.0	26.8	30.5	38.3	36.4	29 dB	23 dB	16 dB	26 dB
MT16H210F-*	Standd. dev. ⁴	4.3	3.1	3.8	3.0	3.0	3.7	5.4				
318 g ¹	APV ⁵	7.8	14.8	23.3	23.8	27.5	34.6	31.0				

Technical specifications: Weight: 318 g. Operating time: 600 hours. Battery type: AAA (2x1.5V).

ANEXO 6

Peltor Tactical Pro Headset

Frequency (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mean Attenuation (dB)	13,8	21,5	30,9	36,6	36,6	35,5	39,0
Standard Deviation (dB)	1,8	0,9	1,3	1,5	5,5	3,1	2,3
Assumed Protection (dB)	12,0	20,6	29,6	35,1	30,4	32,4	36,7

SNR=31dB H=32dB M=29dB L=20 dB



TACTICALPro

eLECTRONIC HEADSETS



Neckband
Hardhat mounted
Padded folding headband

3 band models available



Boom microphone model
+ FL50 radio PTT adaptor
+ Your radio



Heavy duty carrying bag available



Power saving feature. If volume buttons are not adjusted in a span of 2 hours the electronics will shut off.

Ergonomic 3 button touchpad configuration. Middle on/off, top and bottom are volume up/down.

Omni directional (stereo) cup microphones provide 360 degree external ambient listening capability. Electronics limit amplification to 82 dB.

Patented stainless steel spring arms designed for durability with minimum temple pressure

Audio jack for radio connections (refer to patchcord accessories)

2AA batteries, external housing (270+ hours of battery life). Electronic signal inside the headset indicates low battery power while in use.

Patented combination liquidgel filled earcushions

Standard Headset Model Numbers:

MT15H7F SV	Folding headband
MT15H7B SV	Neckband model
MT15H7P3E SV	Hardhat mount

2-Way Headset Model Numbers:

MT15H7A-07 SV	Headband, 2-way with boom
MT15H7B-07 SV	Neckband model, 2-way with boom
MT15H7P3E-07 SV	Hardhat mount, 2-way with boom
FL50*	Radio push-to-talk adaptor

*Contact customer service for a complete list of FL50 in-line PTT adaptors.

Audio Patch Cords and Accessories:

FL6N	3.5mm stereo plug, 3 foot straight cable*
FL6N-01	3.5mm threaded stereo plug*
FL6M	2.5mm mini mono plug, 3 foot straight cable*
FL6M-03	2.5mm mini mono plug, 8 inch curly cable*
FL6H	3.5MM mono plug, 3 foot straight cable*
FL6H-03	3.5mm mono plug, 8 inch curly cable*
HY79	Replacement earcushions & foam
FP9007-US	Headset carrying bag

* Patch cords are for radio receive only audio capability.

THE SOUND SOLUTION
E-mail: peltor_communications@earthlink.net

Technical Information
Phone: 1-800-665-2942
Fax: 1-705-733-3565

U.S. Customer Service
Toll Free: 1-800-665-2942
Fax: 1-705-733-3565

Outside of North America
Phone: 1-705-733-3404
Fax: 1-705-733-3565

Aearo Company
8001 Woodland Drive
Indianapolis, IN 46278 USA

© 2002 Aearo Company.
Peltor® is a trademark of Aearo Company.
Lit. No. 37114

ANEXO 7

SOFTWARE DE MEDICIÓN SIA SMAART LIVE

Empezando con SmaartLive: Procedimientos de Montaje y Mediciones Básicas



Paul D. Henderson (Traducción al Castellano por James Woods)

Este documento sirve como punto de partida en el aprendizaje de SIA SmaartLive® para mediciones básicas de sistemas de audio y de sus componentes. Aquí hablaremos de las capacidades de SmaartLive y del hardware necesario para poder realizar mediciones con éxito. Se presentarán varios ejemplos tutoriales que servirán como una introducción práctica de cómo hacer mediciones con el sistema.

I. Las Funciones de Medición Principales de SmaartLive

Fundamentalmente, SmaartLive es un analizador de doble canal basado en un software, y es capaz de realizar un gran número de tareas de medición que son requeridas por el profesional de audio. SmaartLive no está destinado a reemplazar la audición crítica y la experiencia humana, sino que la aplicación inteligente de esta plataforma de medición a las tareas de configuración, en la búsqueda y solución de problemas, y en la optimización de sistemas, da al usuario varias ventajas significativas. La Tabla 1 muestra los modos de medición básicos de SmaartLive y una sinopsis de cada modo con los usos y aplicaciones más comunes.

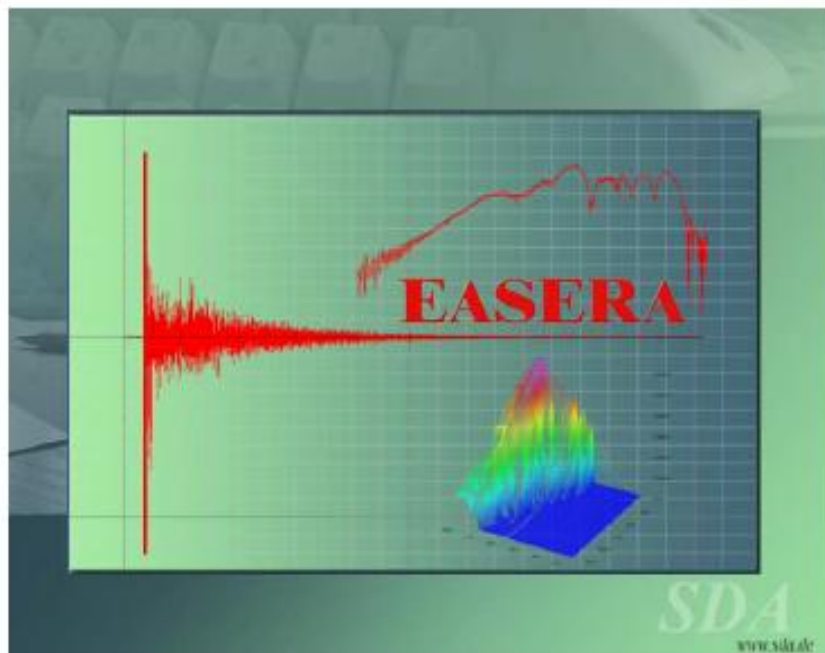
Modo SmaartLive	Características Principales	Aplicaciones
Spectrum (Espectro)	• Análisis de espectro en tiempo real • Muestra los datos en banda estrecha y en fracciones de octava • Calibración a niveles de presión sonora reales con medición en SPL • Funciones continuas espectrográficas y de registro de SPL	• Seguimiento del espectro de la fuente activa • Seguimiento del SPL para actuaciones en directo • Análisis de niveles de ruido • Detección de acoples (realimentación)
Transfer Function (Función de Transferencia)	• Análisis de la función de transferencia en tiempo real • Ventanas configurables de magnitud y fase • Análisis en banda estrecha y puntos fijos por octava (FPPO) • Muestra la coherencia en tiempo real	• Mediciones de la función de transferencia de altavoces, ecualizadores, sistemas de audio • Optimización en tiempo real de sistemas (incluyendo ecualizadores, filtros electrónicos, retardos, etc.)
Impulse (Impulso)	• Medición de la respuesta del impulso • Muestra los datos en formato lineal, logarítmico y ETC • Calcula automáticamente el tiempo de propagación	• Medición de la respuesta al impulso del sistema de sonido con la sala • Configuración de retardos de altavoces, etc.

FUENTE: <http://atae.org/wp-content/uploads/2013/05/Empazando-con-Smaart-Live.pdf>

ANEXO 8
Manual de uso software de medición Easera

EASERA

EASERA Users Manual



By Software Design Ahnert GmbH, Berlin.

Contents

Chapter 0: Overview	6
EASERA Introduction	6
EASERA Tabs	7
EASERA Quick Start	8
Inside EASERA	12
From the Signal to the Display	12
Excitation signals	14
Installing EASERA	17
Registration Instructions	17
License Policy	18
EASERA Versions	19
File Formats and Command line Calls	19
Chapter I: Start	21
EASERA Start Tab	21
EASERA Start Window	22
File Menu	22
View Menu	22
Help Menu	22
Home	24
Wizard	25
Files	27
Chapter II : Measure	28
EASERA Measure Tab	28
EASERA Measure Window	29
File Menu	29
View Menu	30
Tools Menu	31
Help Menu	33
Select Measurement Setup	33
Choose Stimulus Parameters	37
Adjust Levels	39
Start Measurement	41
Device Options dialog box	43
Driver Type	44
Input Driver	44
Output Driver	44
Input Mixer	45
Output Mixer	46
Assign Controls dialog box	46
Hardware Input Configuration dialog box	49
Hardware Output Configuration dialog box	50
External Hardware dialog box	51
Calibration dialog box	53
Quick Input Calibration	54
Full Calibration	55

El manual completo de 212 páginas puede descargarse de la página web.
http://www.renkus-heinz.com/easera/EaseraManual_USPV.pdf

ANEXO 9

Características del Micrófono C417

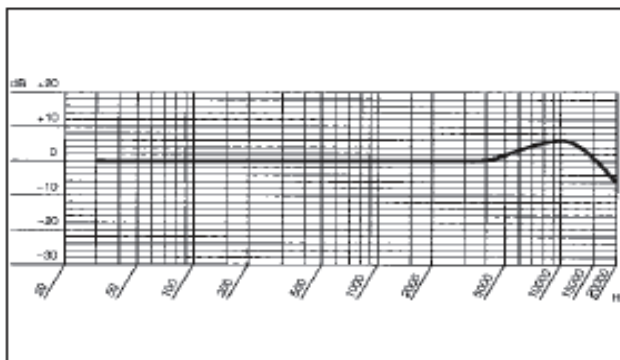
C417

PROFESSIONAL LAVALIER MICROPHONE

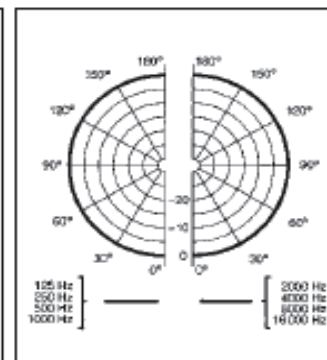
Type:	pre-polarized condenser microphone
Polar pattern:	omnidirectional
Frequency range:	20 Hz to 20,000 Hz
Sensitivity at 1 kHz:	10 mV/Pa (-40 dBV re 1 V/Pa)
Impedance:	200
Recommended load impedance:	2000
Max. SPL for 1%/3% THD:	118/126 dB SPL
Equivalent noise level:	34 dB (A) (to IEC 60268-4)
Power requirement:	C 417 ^{III} PP: 9 to 52 V universal phantom power C 417 ^{III} L/PL: B 29 L battery power supply, MPA III L phantom adapter, or AKG WMS bodypack transmitters
Current consumption:	approx. 2.2 mA
Cable length/Connector:	C 417 ^{III} PP: 3 m (10 ft.) / 3-pin male XLR C 417 ^{III} L/PL: 1.5 m (5 ft.) / 3-pin mini XLR
Finish:	matte black (PP, L) or flesh-color (PL)
Size:	7.5 x 15 mm (0.3 x 0.6 in.)
Net/shipping weight:	C 417 ^{III} PP: 8 g (0.3 oz.) / 220 g (7.8 oz.) C 417 ^{III} L/PL: 8 g (0.3 oz.) / 160 g (5.6 oz.)

This product conforms to the standards listed in the Declaration of Conformity. To order a free copy of the Declaration of Conformity, visit <http://www.akg.com> or contact sales@akg.com.

Frequency Response



Polar Diagram



A HIDDEN SECRET

for theaters, broadcast and conference applications

The C417 is a professional lavalier microphone with omnidirectional polar pattern. Its broadband, flat audio reproduction is ideal for all types of broadcast and theatrical applications. The sound is extremely open and natural, making it ideal for wireless or hardwire multi-mic situations. Thanks to its small housing, it can be inconspicuously and securely attached to jackets and costumes. An attachment clip, tie pin and windscreen are supplied with each C417.

The C417 is available in two versions. The C417 PP features a standard XLR connector while the C417 L provides a professional three-pin mini XLR connector that fits the body pack transmitters of all AKG wireless microphone systems.

Omnidirectional polar pattern

for unchanging sound quality in all directions

Extremely lightweight and inconspicuous

for excellent comfort and perfect fit

Professional three-pin, mini XLR connector

fits all AKG wireless pocket transmitters

Balanced sound characteristics

for natural reproduction of instruments

