

**EMULACIÓN DE UN OÍDO HUMANO PARA DETERMINAR FACTORES DE
RIESGO AUDITIVO POR EL USO PROLONGADO DE AURICULARES DE
DISPOSITIVOS DE AUDIO PORTÁTIL.**

ÁLVARO JOSÉ ZÚÑIGA LIBREROS

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SONIDO
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ
2008**

**EMULACIÓN DE UN OÍDO HUMANO PARA DETERMINAR FACTORES DE
RIESGO AUDITIVO POR EL USO PROLONGADO DE AURICULARES DE
DISPOSITIVOS DE AUDIO PORTÁTIL.**

ÁLVARO JOSÉ ZÚÑIGA LIBREROS

Proyecto de Grado

**Jennifer Victoria Torres Romero
Luis Alejandro Carrillo Flores**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SONIDO
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ
2008**

Notas de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá 31 de Octubre de 2008

A mi Familia y a Diana Rincón, que aportaron un granito de arena más para mi vida profesional. y a mis tutores por su ayuda incondicional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.1 ANTECEDENTES	8
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.3 JUSTIFICACIÓN	10
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	11
1.5.1 ALCANCES	11
1.5.2 LIMITACIONES	12
2. MARCO DE REFERENCIA	13
2.1 MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL	13
2.1.1 EL OÍDO	13

2.1.2 EL OÍDO EXTERNO	13
2.1.3 PABELLÓN AURICULAR	14
2.1.4 ESTUDIOS SOBRE EL OÍDO HUMANO	15
2.1.5 ESTUDIOS SOBRE TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE AURICULARES	18
2.1.6 ESTUDIOS ESTADÍSTICOS SOBRE PÉRDIDA DE AUDICIÓN POR DISPOSITIVOS DE AUDIO PORTÁTIL.	19
2.2 CURVAS ISOFONICAS	21
2.3 CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE AURICULARES EN EL MERCADO	22
2.3.1 EAR BUD	22
2.3.2 AURICULARES BALANCEADOS	22
2.3.3 WIRELESS O INALÁMBRICOS	23
2.3.4 SEALED HEADPHONES	23
2.3.5 FULL SIZE HEADPHONES	23
2.3.6 STREET STYLE	23
2.3.7 CLIP ON	24
2.3.8 EAR CANAL HEADPHONE	24

2.3.9 NOISE CANCELING HEADPHONES	24
2.4 REGLA DEL 60:60	24
2.5 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA	25
2.6 MARCO LEGAL O NORMATIVO	25
3. METODOLOGÍA	27
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	27
3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA	27
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	28
3.3.1 AURICULAR GAMA ALTA (SONY MDR-7506)	28
3.3.2 AURICULAR GAMA MEDIA (SONY MDR-V300)	29
3.3.3 AURICULAR GAMA ECONÓMICA	30
3.3.4 AURICULAR GENÉRICOS (CREATIVE LABS EP-630)	30
3.3.5 AURICULAR SONY DE FABRICA (DISPOSITIVO NW-A1200)	31
3.3.6 AURICULAR SONY ERICSSON HPM-70 (DISPOSITIVO CELULAR)	32
3.3.7 AURICULAR IPOD FABRICA (DISPOSITIVO IPOD NANO)	33

3.4 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE NIVEL DE CADA AURICULAR	
DEPENDIENDO DEL SISTEMA DE AUDIO PORTÁTIL	33
3.4.1 MACINTOSH IPOD NANO (TERCERA GENERACIÓN)	34
3.4.2 SONY NW-A1200 (WALKMAN MP3 SEGUNDA GENERACIÓN)	35
3.4.3 QBOZ (REPRODUCTOR GENÉRICO FABRICADO EN CHINA)	36
3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	36
3.6 HIPÓTESIS	37
3.7 VARIABLES	38
3.7.1 VARIABLES INDEPENDIENTES	38
3.7.2 VARIABLES DEPENDIENTES	38
4. DESARROLLO INGENIERIL	39
4.1 SINTONIZACIÓN DEL TUBO	42
4.2 Montaje y calibrado del sistema:	43
4.3 CRITERIOS DE MEDICIÓN	44
4.3.1 AISLAMIENTO	44
4.3.2 RESPUESTA EN FRECUENCIA	44

4.4 Comparación de niveles del Reproductor de audio (Máximo, Regla 60-60, Limitador)	44
4.4.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN	45
5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	48
5.1 Aislamiento Neto en frecuencia del Auricular	49
5.1.1 AURICULAR GAMA ALTA (SONY MDR-7506)	51
5.1.2 AURICULAR GAMA MEDIA (SONY MDR-V300)	52
5.1.3 AURICULAR GAMA ECONÓMICA	53
5.1.4 AURICULAR GENÉRICOS (CREATIVE LABS EP-630)	54
5.1.5 AURICULAR SONY DE FÁBRICA (DISPOSITIVO AW-1200)	55
5.1.6 AURICULAR SONY ERICSSON (DISPOSITIVO CELULAR)	56
5.1.7 AURICULAR IPOD FÁBRICA (DISPOSITIVO IPOD NANO)	57
5.2 FASE DE RESPUESTA EN FRECUENCIA EN EL PABELLÓN IZQUIERDO Y DERECHO	59
5.2.1 AURICULAR GAMA ALTA (SONY MDR-7506)	59
5.2.2 AURICULAR GAMA MEDIA (SONY MDR-V300)	60

5.2.3 AURICULAR GAMA ECONÓMICA	61
5.2.4 AURICULAR GENÉRICOS (CREATIVE LABS EP-630)	62
5.2.5 AURICULAR SONY DE FÁBRICA (DISPOSITIVO AW-1200)	63
5.2.6 AURICULAR SONY ERICSSON (DISPOSITIVO CELULAR)	64
5.2.7 AURICULAR IPOD FÁBRICA (DISPOSITIVO IPOD NANO)	65
5.3 NIVEL MEDIDO POR CADA AURICULAR Y REPRODUCTOR	67
5.3.1 MACINTOSH IPOD NANO (TERCERA GENERACIÓN)	67
5.3.1.1 Circunmaurales (Máximo Nivel del Reproductor)	67
5.3.1.2 Ear-Bud (Máximo Nivel del reproductor)	68
5.3.1.3 In-ear (Máximo nivel del reproductor)	70
5.3.1.4 Circunaural (Nivel 60%)	71
5.3.1.5 Ear-Bud (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)	72
5.3.1.6 In-Ear (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)	73
5.3.1.7 Circunaural (Nivel Limitador)	74

5.3.1.8 Ear-Bud (Nivel Limitador)	75
5.3.1.9 In-Ear (Nivel Limitador)	76
5.3.2 SONY NW-A1200 (WALKMAN MP3 SEGUNDA GENERACIÓN)	77
5.3.2.1 Circunaural (Máximo nivel del Reproductor)	77
5.3.2.2 Ear-Bud (Nivel Máximo del reproductor)	78
5.3.2.3 In-Ear (Máximo Nivel del reproductor)	79
5.3.2.4 Circunaural (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)	80
5.3.2.5 Ear-Bud (Nivel 60%)	81
5.3.2.6 In-Ear (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)	82
5.3.2.7 Circunaural (Nivel Limitador AVLS)	83
5.3.2.8 Ear-Bud (Nivel Limitador AVLS)	84
5.3.2.9 In-Ear (Nivel Limitador AVLS)	85
5.3.3 QBOZ (REPRODUCTOR GENÉRICO FABRICADO EN CHINA)	86
5.3.3.1 Circunaural (Nivel Máximo del reproductor)	86

5.3.3.2 Ear-Bud (Nivel Máximo del reproductor)	87
5.3.3.3 In-Ear (Nivel Máximo del reproductor)	88
5.3.3.4 Circunaural (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)	89
5.3.3.5 Ear-Bud (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)	90
5.3.3.6 In-Ear (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)	91
5.4 ÍNDICE DE CONFIANZA	93
5.4.1 CIRCUMAURALES	93
5.4.1 EAR-BUD	94
5.4.1 IN-EAR	95
6. CONCLUSIONES	99
7. RECOMENDACIONES	105
BIBLIOGRAFÍA	107
ANEXOS	108

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Pabellón auditivo izquierdo, las denominaciones son las habituales en clínica, Anatomía de Moore, tercera edición.

Figura 2: Visión anterior de un corte coronal del oído derecho, Anatomía de Moore, tercera edición.

Figura 3: Foto de los huesecillos de un oído humano al microscopio, Anatomía de Moore, tercera edición.

Figura 4: Modelo acústico-estructural del oído humano, artículo PDF, Simulación del Comportamiento del Oído Medio Bajo la Emisión Acústica de Auriculares.

Figura 5: Modelo de la interacción del oído externo-auricular, artículo PDF, Simulación del Comportamiento del Oído Medio Bajo la Emisión Acústica de Auriculares

Figura 6: Esquema de un modelo del canal auditivo, artículo PDF, Simulación del Comportamiento del Oído Medio Bajo la Emisión Acústica de Auriculares

Figura 7: Ear Bud

Figura 8: auriculares Balanceados

Figura 9: Auriculares Gíreles o inalámbricos

Figura 10: Sealed Headphones

Figura 11: Full Size Headphones

Figura 12: Street Style

Figura 13: Clip On

Figura 14: Ear Canal Headphone

Figura 15: Noise Canceling Headphones

Figura 16: SONY® MVR-7506

Figura 17: SONY® MVR-V300

Figura 18: Gama Económica

Figura 19: CREATIVE® EP-630

Figura 20: SONY® NW-A1200

Figura 21: SONY ERICSSON® HPM-70

Figura 22: IPOD® Nano

Figura 23: MACINTOSH IPOD NANO®

Figura 24: SONY® NW-A1200

Figura 25: QBOZ®

Figura 26: Modelación del pabellón auditivo (plastilina).

Figura 27: Esquema de partes del sistema de medición.

Figura 28: Esquema para el sistema de medición.

Figura 29: Esquema de medición de aislamiento neto con fuente a 85 dB SPL

Figura 30: Esquema de medición de respuesta en frecuencia del .auricular en el

Figura 31: Esquema de medición de nivel del auricular en el emulador.

Figura 32: SpectraPLUS® de PIONNER® HILLS Funcionando.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones SONY® MVR-7506

Tabla 2: Especificaciones SONY® MVR-V300

Tabla 3: Especificaciones Gama Económica

Tabla 4: Especificaciones CREATIVE® EP-630

Tabla 5: Especificaciones SONY® NW-A1200

Tabla 6: Especificaciones SONY ERICSSON® HPM-70

Tabla 7: Especificaciones IPOD® Nano

Tabla 8: Especificaciones MACINTOSH IPOD NANO®

Tabla 9: Especificaciones SONY® NW-A1200

Tabla 10: Especificaciones QBOZ®

Tabla 11: de parámetros de medición, hardware, software y calibración.

Tabla 12: Totalidad de mediciones que comprende el proyecto

Tabla 13: Niveles de ruido permitidos por la OMS (Organización Mundial d la Salud)

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Dinámica del sistema acoplado del oído externo.

Ecuación 2: Presión acústica en el canal auditivo.

Ecuación 3: Tubo sintonizado.

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1: aislamiento neto medido en el auricular de Gama Alta

Grafica 2: aislamiento neto medido en el auricular de Gama Media

Grafica 3: aislamiento neto medido en el auricular de Gama Económica

Grafica 4: aislamiento neto medido en el auricular Genérico

Gráfica 5: aislamiento neto medido en el auricular SONY® de fábrica

Gráfica 6: aislamiento neto medido en el auricular SONY® Ericsson

Gráfica 7: aislamiento neto medido en el auricular IPOD® Nano

Gráfica 8: respuesta en frecuencia auricular Gama Alta.

Gráfica 9: respuesta en frecuencia auricular Gama Media.

Gráfica 10: respuesta en frecuencia auricular Gama Económica.

Gráfica 11: respuesta en frecuencia auricular Genérico.

Gráfica 12: respuesta en frecuencia auricular Sony® de Fábrica

Gráfica 13: respuesta en frecuencia auricular Sony Ericsson.

Gráfica 14: respuesta en frecuencia auricular Ipod Fábrica.

Gráfica 15: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 16 comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 17: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 18: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 19: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 20: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 21: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 22: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 23: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 24: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 25: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 26: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 27: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Gráfica 28: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Gráfica 29: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Gráfica 30: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Gráfica 31: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Gráfica 32: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Gráfica 33: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 34: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 35: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 36: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 37: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 38: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Gráfica 39: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 40: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 41: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 42: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 43: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 44: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 45: comportamiento con AVLS del nivel del reproductor

Gráfica 46: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Gráfica 47: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Gráfica 48: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Gráfica 49: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Gráfica 50: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Gráfica 51: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Gráfica 52: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Gráfica 53: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Gráfica 54: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Gráfica 55: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Gráfica 56: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Gráfica 57: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Gráfica 58: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Gráfica 59: comportamiento al 60% del nivel del reproductor

Gráfica 60: comportamiento al 60% del nivel del reproductor

Gráfica 61: comportamiento al 60% del nivel del reproductor

Gráfica 62: comportamiento al 60% del nivel del reproductor

Gráfica 68: Desviación Estándar de las mediciones totales en In-Ear

Gráfica 67: Varianza de las mediciones totales en In-Ear

Grafica 66: Desviación Estándar de las mediciones totales en Ear-Bud

Gráfica 65: Varianza de las mediciones totales en Ear-Bud

INTRODUCCIÓN

Esta investigación se basa en hacer un estudio minucioso, por medio de una emulación del pabellón auditivo externo, para comprender los aspectos importantes y de riesgo cuando se utilizan los auriculares de dispositivos de audio portátil que están en el mercado actualmente y, de alguna manera advertir sobre problemas de la salud en el oído, teniendo en cuenta que solo se puede prevenir más no curar.

El Oído humano es una de las herramientas básicas para percibir sensaciones generadas por el medio en el que se vive, estos efectos, que traducidos, son perturbaciones en el aire, proporcionan información de todos los objetos que se encuentran en el espacio, esta percepción, brinda elementos importantes como la comunicación entre otros seres. Centrándose en la comunicación, se sabe que hay una característica importante que proporciona estados de ánimo, sentimientos, como los mencionados en: *“Efectos de la música en nuestros estados de ánimo”*.¹

La música como parte de la cultura y de la trascendencia humana, no solo brinda las sensaciones anteriormente mencionadas sino también proporciona a la tecnología puertas para su desarrollo. La tecnología en el audio digital empezó desde los años 90s, desde que apareció la multimedia en los computadores, y evolucionó, como lo conocemos ahora, audio portátil.

Como en toda evolución, hay un proceso en el cual surgen algunas preguntas tales como: ¿Será que el reproductor de audio dañará el oído?, algunas investigaciones como la de el Estadounidense Brian Fligor dicen: *“si una persona se excede un día en particular y luego no usa los auriculares el resto de la semana, no corre un riesgo mayor; el problema está en alguien que excede el 80 por ciento durante 90 minutos día tras día, mes tras mes, por años”*.²

¹ “De *Psicología.com* el blog de psicología y relaciones sociales. Disponible en: <http://depsicologia.com/efectos-de-la-musica-en-nuestros-estados-de-animo/>”

² “Autor: Teresa Romanillos, fecha de publicación: 17 de noviembre de 2006. disponible en: <http://www.consumer.es/web/es/salud/prevencion/2006/11/17/157296.php>”

Las investigaciones se han inclinado más en el dispositivo que reproduce el formato de audio, pero siempre ha existido una pregunta, que es muy frecuente entre las personas, ¿Cuál será el dispositivo de audio adecuado?, muy posiblemente el dispositivo no es el problema, el verdadero dilema es ¿qué pasa, cuando esa señal de audio llega a los oídos?, ¿qué sucede con el aparato auditivo?, ¿por que al transcurrir el tiempo se va perdiendo la capacidad de audición?, en algunos casos la respuesta es, por el diseño de los audífonos, pero en si la mayoría de audífonos para esta clase de dispositivos son de igual clase de manufactura.

Se realizara una investigación, Emulando los aspectos relevantes del pabellón auditivo con el fin de informar a las personas que utilizan dispositivos de audio portátil, el riesgo al que se expone con el uso prolongado de los mismos. Gracias a esta emulación se puede llegar a obtener resultados acertados sin tener que hacer daño alguno a personas; Se puede utilizar como mecanismo para demostrar los riesgos de una manera directa y explicable para la sociedad.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

En el mundo, países europeos como España han adelantado investigaciones estadísticas sobre el daño ocurrido por el uso prolongado de auriculares desde que salieron al mercado los dispositivos de audio portátil, es importante saber que estos estudios no dicen claramente como fue medido ni muestran subjetivamente el daño real, acercando mas al usuario a la importancia que es esto para la salud de su audición.

*El doctor Navarro, con unos auriculares. [USOZ]
“La pérdida auditiva de la población se va extendiendo desde la tercera edad hacia los más jóvenes, cuyos tímpanos soportan un volumen excesivo de los aparatos reproductores de música. El otorrinolaringólogo del Hospital Donostia, Juan José Navarro, advierte del riesgo de utilizar durante demasiado tiempo estos aparatos y recuerda que la sordera no tiene tratamiento médico ni quirúrgico”.³*

Según organismos como FAMMA en Madrid España se revelan argumentos validos como:

*El mal uso de auriculares puede provocar pérdidas de audición Redacción de ACCESIBLE (9-1-06)
La comunidad científica advierte a los jóvenes de que escuchar música de forma constante y a un volumen demasiado elevado puede causar pérdidas de audición similares a las que produce el envejecimiento. Los MP3 y los iPod®, que permiten un empleo más prolongado dado que almacenan gran cantidad de ficheros y sus baterías son más perdurables, son más perjudiciales que los antiguos*

³ “Diario Vasco en España. [sitio en Internet] Diario Vasco. Disponible en: http://www.diariovasco.com/prensa/20070619/aldia/cada-jovenes-tienen-problemas_20070619.html. Acceso 4 de octubre de 2007”

sistemas de escucha de música. Aunque la preocupación debe producirse por el abuso en el volumen con el que se escuchan estos aparatos.

Investigadores estadounidenses han constatado un aumento del riesgo de sufrir pérdidas auditivas asociadas al uso de auriculares en la población en general. Escuchar música con auriculares de botón, la tecnología actual, es muy perjudicial, debido a que el espacio que queda entre el casco y el conducto auditivo no deja salir el sonido, por lo que éste rebota causando daños más intensos en el órgano. Es necesario hablar con los jóvenes sobre esto porque no perciben el problema.

La Organización Mundial de la Salud dice que la pérdida de audición provocada por el ruido es una de las enfermedades irreversibles más frecuentes y problemáticas de hoy en día. Pese a que la edad es un factor determinante para la disminución en la capacidad de oír, el intenso ruido de las ciudades, las obras, los coches, ciertas actividades laborales y el mal uso de los aparatos de escucha de música modernos están provocando disfunciones precoces a la hora de escuchar. Además, la exposición al ruido causa interferencias en la comunicación, estrés, alteraciones en el sueño e incluso infartos de miocardio.⁴

En Colombia existen pocos artículos de concientización auditiva, generando un desentendimiento de este problema, que realmente está afectando no solo a la población adulta, sino a la población joven.

En la universidad de San Buenaventura se han adelantado estudios de auriculares tales como *earbuds*, *in ear*, *auriculares Circumaurales* y *auriculares abiertos*.

Estos estudios están basados en la parte electrónica y la medida del comportamiento bajo software como el *Loud Speaker Lab* ®. *Linkwitz Lab*.

4 "Organización FAMMA. FAMMA ORG disponible en <http://www.famma.org/noticias2006/010619.htm>. Acceso 4 de octubre de 2007"

Existen dispositivos de medición como el *BK 4195 Artificial ear* basado en normas de como la *IEC-318* con el fin de medir cualquier tipo de auricular y ancho de banda de aplicaciones telefónicas.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con el deterioro del oído humano al pasar de los años, los factores externos como el ruido en las ciudades modernas y el comportamiento a factores químicos como *drogas y sustancias*⁵ que pueden llegar a dañar el oído, existen otras condiciones importantes que no se han tenido en cuenta por la humanidad a medida que la tecnología avanza, analizando esto se llega a la siguiente pregunta:

¿Por qué existe una pérdida auditiva considerable con el uso prolongado de auriculares de dispositivos de audio portátil?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto va dirigido a las personas que están expuestas a los riesgos producidos por los auriculares del dispositivo de audio portátil, con el fin de llevar a cabo una concientización que permita el buen uso de estos dispositivos.

En Colombia, la Universidad San Buenaventura sede Bogotá, adelantó una investigación acerca de estos dispositivos, pero no se ha realizado un impacto de frente a la sociedad, indagando sobre el conocimiento que tienen las personas frente al problema, los tipos de cultura y sus costumbres.

La utilidad del proyecto va dirigido al auto equipamiento de la Universidad, abriendo una puerta para las investigaciones futuras respecto al oído medio e interno, en la parte clínica, facilitar al medico la demostración directa a las personas de lo que sucede cuando se somete el oído a los auriculares, también sirve como herramienta lúdica para las personas que están en su formación educativa, como colegios y universidades.

⁵ "Los disolventes empeoran la capacidad auditiva. Disponible en: <http://spanish.press.hear-it.org/page.dsp?page=2712>"

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

- Emular un pabellón auditivo (oído externo), para así determinar factores de riesgo, por el uso prolongado de auriculares de dispositivos de audio portátil.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Delimitar anatómicamente el modelo del pabellón auditivo, teniendo en cuenta tamaños y formas.
- Construir e implementar un pabellón auditivo artificial.
- Caracterizar diferentes tipos de auriculares comerciales.
- Medir los diferentes tipos de auriculares utilizando el emulador.
- Comparar objetivamente los distintos auriculares determinando cual puede causar mayor riesgo al utilizarlo.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 Alcances

Con esta investigación se pretende dar a conocer los factores críticos de riesgo auditivo para las personas que utilizan los dispositivos de audio portátil. No se trata de cuantificar ni determinar exactamente el daño, sino, sensibilizar a las personas frente al uso, las condiciones y los daños posibles que puede causar el dispositivo, basándose en estudios estadísticos como el de la agencia *Reuters* junto con *Brian Fligor*⁶.

⁶ “Autor: Teresa Romanillos, fecha de publicación: 17 de noviembre de 2006. disponible en: <http://www.consumer.es/web/es/salud/prevencion/2006/11/17/157296.php>”

También se pretende dar una herramienta abierta a la investigación para desarrollar el oído medio e interno, basado en el oído externo.

1.5.2 Limitaciones

La medición subjetiva de riesgos de pérdida auditiva por el uso de dispositivos de audio portátil son factores no tangibles e inmedibles ya que, las personas están sometidas a diferentes condiciones fisiológicas, culturales y sociales, el oído es un sentido que se acomoda a estas condiciones y puede variar en sonoridades colores timbres y demás variables subjetivas. Por esos los resultados de estas no se pueden cuantificar, pero si se puede hacer una predicción.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL

2.1.1 El Oído

El oído, se compone de tres porciones principales llamadas, oído externo, oído medio y oído interno. Este órgano cumple dos funciones en el organismo, la primera está basada en el equilibrio y la segunda en la audición. Las porciones del oído externo y medio se dedican plenamente a la transmisión del sonido hasta el oído interno, haciendo una transformación de ondas mecánicas a pequeños impulsos eléctricos en el oído interno que contiene el órgano vestíbulo-coclear.

2.1.2 El oído externo

El oído externo se compone del pabellón auricular ovalado que recoge toda la información sonora del aire a través del conducto auditivo externo que conduce los sonidos hasta la membrana timpánica, que lo separa del oído medio.

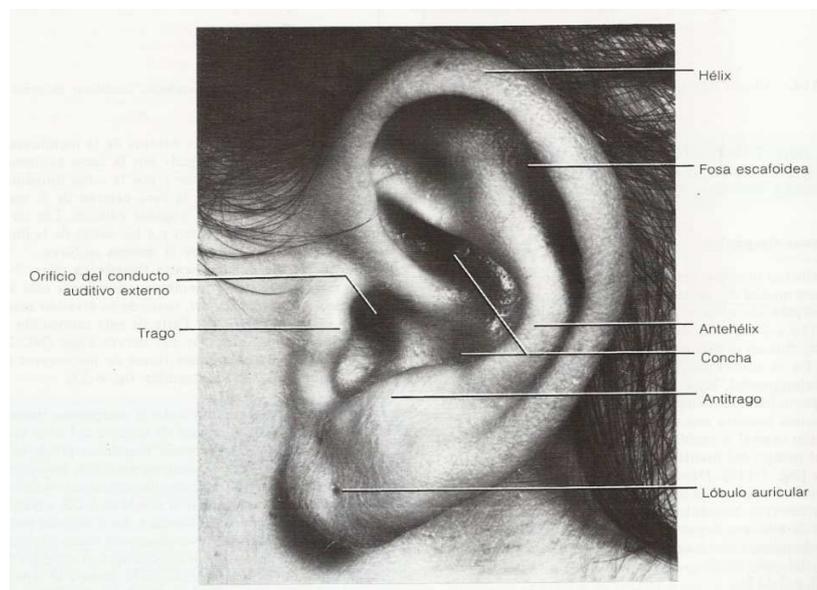


Figura 1: Pabellón auditivo izquierdo, las denominaciones son las habituales en clínica, Anatomía de Moore, tercera edición.

2.1.3 Pabellón auricular

El pabellón de la oreja es la porción visible del oído externo, con forma de concha. Se halla conectado al cráneo a través de la piel, conducto auditivo externo, ligamentos y músculos. El pabellón (concha) de la oreja se compone de un cartílago elástico único cubierto por ambas caras por una piel fina y pilosa. El oído externo contiene pelos, glándulas sudoríparas y glándulas sebáceas. El cartílago muestra diversos surcos y crestas irregulares, que otorgan al pabellón su forma de concha. Así mismo, configura el orificio del conducto auditivo externo. Este cartílago se prolonga medialmente con el cartílago del conducto auditivo externo.

La forma del pabellón auditivo varía considerablemente en distintas personas y carece de significación clínica, excepto cuando ocurren malformaciones graves, como por ejemplo las trisomías 13 y 18 (Moore 1988).⁷

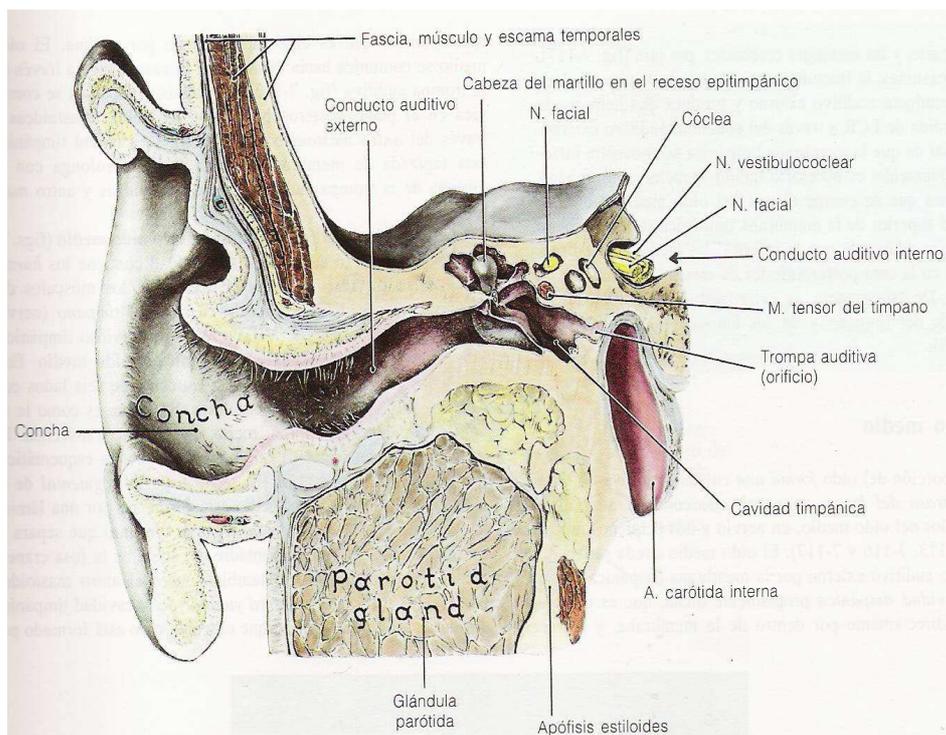


Figura 2: Visión anterior de un corte coronal del oído derecho, Anatomía de Moore, tercera edición.

⁷ "MOORE KEITH L, Anatomía con orientación clínica. (Tercera edición) Capítulo 7 (oído), 1993, 946 p".

2.1.4 Estudios sobre el oído humano

Se han realizado estudios minuciosos del oído humano basándose en la matemática, uno de ellos muy importante es el realizado por el grupo de acústica y vibraciones de la Universidad Nacional del río cuarto, Argentina.

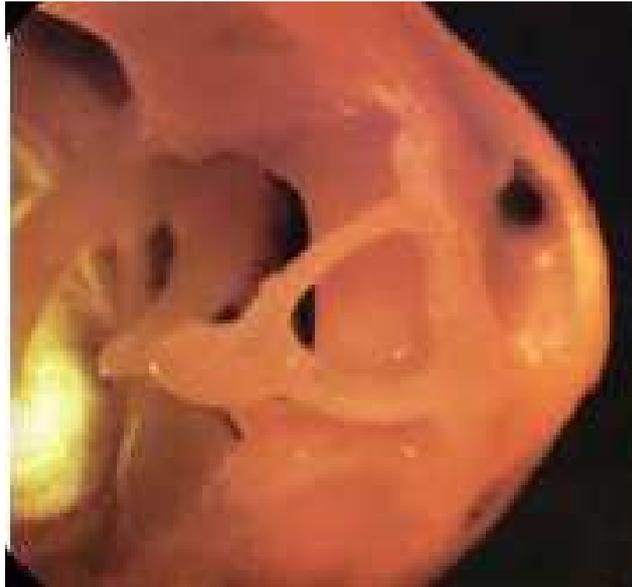


Figura 3: Foto de los huesecillos de un oído humano al microscopio, Anatomía de Moore, tercera edición.

El objetivo de la investigación es desarrollar un modelo analítico del oído humano que reflejara el comportamiento acústico-estructural del oído real en un conjunto.

El modelo acústico a utilizar es extraído de Simulación del Comportamiento del Oído Medio Bajo la Emisión Acústica de Auriculares, Mecánica Computacional Vol XXV, pp. 773-781, Santa Fe, Argentina, Noviembre 2006; al cual se le ha agregado un resorte de torsión para tener en cuenta la rigidez por debajo de los 1000 Hz. Este modelo es excitado acústicamente a través de un auricular.

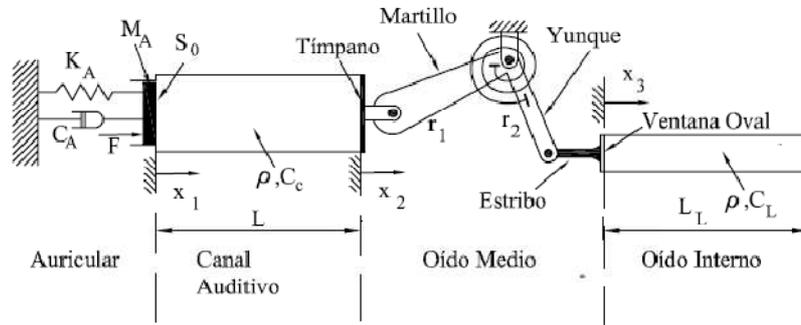


Figura 4: Modelo acústico-estructural del oído humano, artículo PDF, Simulación del Comportamiento del Oído Medio Bajo la Emisión Acústica de Auriculares.

Para simular la dinámica del sistema acoplado del oído externo y el auricular se utiliza la siguiente ecuación:

$$\left[C_A + i \left(\omega M_A - \frac{K_A}{\omega} \right) \right] \dot{x}_1 = S_0 p(0) + F$$

Ecuación 1: Dinámica del sistema acoplado del oído externo.

Donde CA es la disipación resistiva del auricular MA es la inductancia del auricular, KA es la inversa del valor de la capacidad eléctrica del auricular, i es la unidad imaginaria, ω es la frecuencia angular, S0 es el área promedio de la sección de la entrada del canal auditivo, p(0) es la presión acústica actuando sobre el auricular, F es una excitación armónica de tensión eléctrica actuando sobre el auricular.

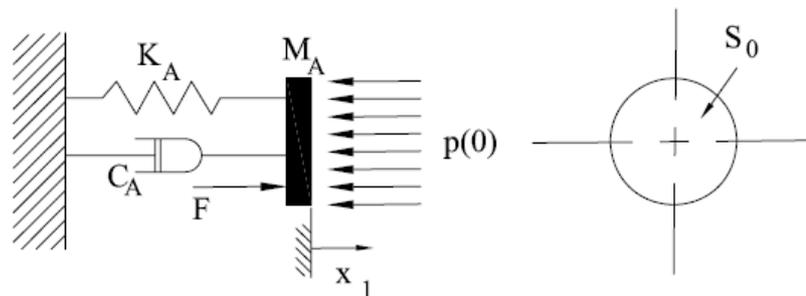


Figura 5: Modelo de la interacción del oído externo-auricular, artículo PDF, Simulación del Comportamiento del Oído Medio Bajo la Emisión Acústica de Auriculares

La presión acústica dentro del canal auditivo está dada por:

$$p(x) = \int_0^{2\pi} \int_0^{R_1} G_1(x|0) i\omega \rho \dot{x}_1 r dr d\theta - \int_0^{2\pi} \int_0^{R_2} G_1(x|L) i\omega \rho \dot{x}_2 r dr d\theta$$

Ecuación 2: Presión acústica en el canal auditivo.

Donde G_1 es denominada función de Green o función de interacción, ρ es la densidad del aire, x_1 es la velocidad de la parte móvil del auricular, x_2 es la velocidad de la membrana timpánica, R_1 es el radio promedio de la sección de entrada del canal auditivo, y R_2 es el radio promedio de la membrana timpánica.

Un esquema del canal auditivo puede ser:

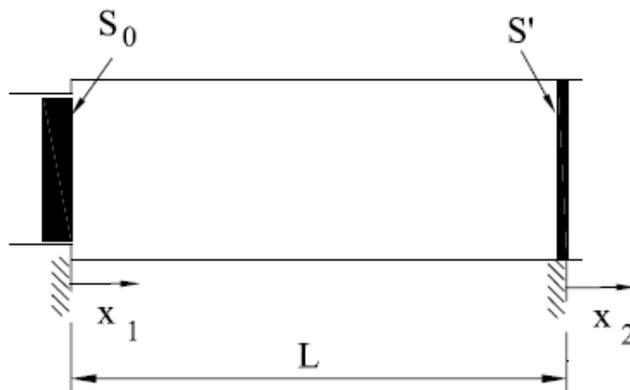


Figura 6: Esquema de un modelo del canal auditivo, artículo PDF, Simulación del Comportamiento del Oído Medio Bajo la Emisión Acústica de Auriculares

Para concluir la investigación, se obtuvieron los siguientes resultados y conclusiones:

“El oído humano posee una compleja estructura, perfectamente dividida en tres partes. Un modelo del oído humano fue desarrollado con el objetivo de caracterizar la respuesta del oído medio bajo una carga acústica. El modelo presenta el acoplamiento entre la estructura del oído con las cavidades acústicas que son parte integral del mismo. Estas cavidades que poseen una dinámica propia son el canal

auditivo y la cóclea con sus fluidos correspondientes. La resonancia del canal auditivo se acopla al movimiento del tímpano en el rango de frecuencia de estudio. El modelo reproduce eficazmente mediciones experimentales del movimiento de la membrana timpánica. La ganancia se ajusta bien en todo el rango de frecuencias de estudio. Lográndose una buena adaptación de la respuesta por debajo de los 1000 Hz, al agregar un resorte en la articulación martillo-yunque. El efecto del auricular sobre el oído medio es producir movimiento que es transmitido hacia el oído interno.”⁸

2.1.5 Estudios sobre técnicas de medición de auriculares

Para medir auriculares se debe tener en cuenta una serie de aspectos importantes antes de proceder, la primera, hace parte de su fisiología; se trata del conducto auditivo, su longitud varía entre 2cm y 2,5cm. El extremo lateral del conducto, su porción más ancha, tiene aproximadamente el diámetro de un lápiz (6mm a 8mm de diámetro). El conducto se estrecha en el extremo medial de la porción cartilaginosa y en la porción ósea, aproximadamente a 4mm de la membrana timpánica. La porción constreñida se denomina istmo. La pared inferior del conducto es aproximadamente 5mm más larga que la superior, debido a la disposición oblicua de la membrana timpánica.

El tamaño y la forma del pabellón y el conducto auditivo no es un factor importante a la hora de hacer mediciones, ya que todos los seres humanos tienen la misma capacidad de audición, a excepción de las personas que sufren de malformaciones congénitas y patologías diferentes.

Los aspectos más importantes para medir auriculares son: ⁹

- Respuesta en frecuencia
- Insonorización o aislamiento del ruido externo
- Impedancia eléctrica del auricular
- La distorsión armónica o THD

⁸ “Grupo de Acústica y Vibraciones (GAV), Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nacional 36 Km. 601. (X5800BYA) Río Cuarto, Córdoba. Argentina”.

⁹ “Medición de respuesta en frecuencia de auriculares. Alejandro Schroeder. Universidad de San Buenaventura”

2.1.6 Estudios estadísticos sobre pérdida de audición por dispositivos de audio portátil.

Para determinar y explicar los factores de riesgo en el oído por el uso de auriculares, se debe tomar en cuenta, estudios realizados estadísticamente a las personas en su vida cotidiana, estos estudios son:

Según comentó a la agencia Reuters el autor del estudio estadounidense, Brian Fligor, «si una persona se excede un día en particular y luego no usa los auriculares el resto de la semana, no corre un riesgo mayor; el problema está en alguien que excede el 80 por ciento durante 90 minutos día tras día, mes tras mes, por años», añadió el especialista.

El análisis de más de 100 estudiantes concluye que las personas que escuchan música a un 80 por ciento de la capacidad de volumen de su reproductor, un punto en el cual el sonido se considera elevado, deberían hacerlo menos de 90 minutos diarios. El estudio no detecta problemas en los individuos que escuchaba música entre el 10 y el 50 por ciento del volumen máximo durante períodos prolongados. Asimismo, no se encuentran diferencias en los niveles de sonido entre las marcas de reproductores o entre los géneros musicales evaluados, que fueron desde rock y música country hasta música disco. Los resultados del estudio se aplican a niños y adultos, aunque los expertos desconocen si los chicos son más susceptibles.

La pérdida de audición puede pasar inadvertida y llegar a tardar diez años en manifestarse. Según manifestó el autor del estudio, especialista en Audiología del Hospital de Niños de Boston, «me preocupa el adolescente que con 24 o 25 años ya tendrá pérdida de audición inducida por el ruido, y al que le quedan unos 60 años por vivir con una audición que sólo empeorará»¹⁰.

¹⁰ "Autor: Teresa Romanillos, fecha de publicación: 17 de noviembre de 2006. disponible en: <http://www.consumer.es/web/es/salud/prevencion/2006/11/17/157296.php>"

Un segundo estudio efectuado junto Terry Ives, de la Escuela de Audiología del Colegio de Optometría de Pennsylvania, revela que los auriculares que se colocan dentro de la oreja y emiten el sonido directamente a los oídos no son más peligrosos que los que se ubican por sobre éstos.

Otro trabajo publicado recientemente en la revista *New Scientist* concluye que uno de cada cuatro jóvenes tiene su oído dañado por haber escuchado música a volúmenes muy altos. El estudio se realizó en Düsseldorf (Alemania), en el Instituto de Medicina Ocupacional de la Universidad Heinrich Heine y para llevarlo a cabo, se examinó a unos 1.800 jóvenes de edades comprendidas entre los 18 y los 25 años. Los científicos encontraron pérdida de audición en la cuarta parte de los participantes, siendo los más afectados precisamente aquellos que pasaban mayor tiempo escuchando música a un volumen elevado.

La investigación se ha efectuado en Alemania pero los datos podrían ser extrapolables a buena parte de los países desarrollados donde la música tecno, escuchada durante toda una noche en los clubes, los walkman ajustados a las orejas y a máximo volumen durante el día, y los nuevos sistemas Dolby instalados en algunas salas de cine, están causando estragos en el aparato auditivo de la juventud⁹.

Los expertos aconsejan no escuchar el reproductor a más del 60% del volumen máximo y no utilizarlo durante más de 60 minutos cada vez⁹.

En otro estudio realizado también en Alemania, en el que se hizo un seguimiento a 270 estudiantes de Berlín, mostró que uno de cada diez jóvenes menores de 18 años ya había sufrido daños en su oído que le impedían mantener y entender una conversación normalmente. Los investigadores encontraron que los adolescentes que escuchaban música con *walkman*® durante más de dos horas al día y que acudían a una discoteca al menos una vez a la semana, tenían una reducción de diez decibelios en su sensibilidad auditiva (aproximadamente el 20% de la población menor de 30 años elige como ocio escuchar música e ir a discotecas).

Un sondeo efectuado en el Reino Unido, demostró que el 14 por ciento de las personas de entre 16 y 34 años utilizan sus reproductores de música personales durante 28 horas a la semana. Más de una tercera parte de las 1.000 personas interrogadas en la encuesta dijeron que tenían un zumbido en el oído, una señal de daño en la audición, tras escuchar música alta. Según advirtió la Organización de Investigación de la Sordera en Reino Unido, adolescentes y jóvenes adultos que escuchan reproductores de mp3 a un volumen demasiado alto y demasiado a menudo se arriesgan a quedarse sordos 30 años antes que la generación de sus padres.

Casi el 40 por ciento de las personas interrogadas en la encuesta dijo que no conocía las consecuencias y el 28 por ciento dijo que iban a bares, pubs o clubes nocturnos ruidosos una vez a la semana. La organización aconseja seguir la norma del 60-60. *No escuchar el reproductor de mp3 a más del 60 por ciento del volumen máximo y no utilizarlo durante más de 60 minutos cada vez*⁹.

2.2 CURVAS ISOFÓNICAS

Estas curvas calculan la relación existente entre la frecuencia y la intensidad (en decibelios) de dos sonidos para que éstos sean percibidos como igual de fuertes, con lo que todos los puntos sobre una misma curva isofónica tienen la misma sonoridad.

Así, si 0 fon corresponden a una sonoridad con una intensidad de 0 dB con una frecuencia de 1 kHz, también una sonoridad de 0 fon podría corresponder a una sonoridad con una intensidad de 60 dB con una frecuencia de 70 Hz.

Las primeras curvas de igual sonoridad fueron establecidas por Munson y Fletcher en 1930.

En estas curvas isofónicas se observa cómo, a medida que aumenta la intensidad sonora, las curvas se hacen, cada vez, más planas. Esto se traduce en que la dependencia de la frecuencia es menor a medida que aumenta el nivel de presión sonora, lo que significa que si disminuye la intensidad sonora los últimos sonidos perceptibles en desaparecer serían los agudos (altas frecuencias). Las curvas de Munson y Fletcher fueron re calculadas, más tarde, por Robinson y Dadson.

Las curvas Munson y Fletcher y las curvas de Robinson y Dadson sólo son válidas para un campo sonoro directo, dado que no tienen en cuenta que no percibimos por igual los sonidos si provienen de diferentes direcciones (campo sonoro difuso).¹¹

Otras curvas de ponderación muy difundidas son:

- la curva A (curva de nivel de sonoridad de 30 fones, medidas en decibelios A - dB_A).
- La curva B (curva de nivel de sonoridad de 70 fones, medidas en decibelios B - dB_B).
- La curva C (curva de nivel de sonoridad de 100 fon, medidas en decibelios C - dB_C).

2.3 CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE AURICULARES EN EL MERCADO

Existen varios tipos de auriculares, los más conocidos son:

- Circumaurales (cubren el pabellón auditivo en su totalidad)
- Supra aurales (Cubren el pabellón auditivo pero no en su totalidad, usados en reproductores de audio portátil)
- Intra aurales (se localizan en una porción interna del conducto auditivo)
- Ear phones (usados para reproductores de audio portátil, pobre respuesta en frecuencia)
- Audífonos (Uso médico para prótesis e implantes)

También existen otros tipos de auriculares respecto a sus aspectos electrónicos

2.3.1 Ear Bud



Figura 7: Ear Bud

Auriculares pequeños que se sitúan en la parte externa del conducto auricular.

2.3.2 Auriculares Balanceados



Figura 8: auriculares Balanceados

Auriculares que poseen un cable de muy alta definición para pre amplificador.

2.3.3 Wireless o inalámbricos



Figura 9: Auriculares Gíreles o inalámbricos

Auriculares sin cable, la transmisión de datos se hace por ondas de radio.

2.3.4 Sealed Headphones



Figura 10: Sealed Headphones

Variedad de auriculares que atenúan el ruido ambiente alrededor del usuario.

2.3.5 Full Size Headphones



Figura 11: Full Size Headphones

Auriculares con tapas grandes que cubren el pabellón auditivo por completo.

2.3.6 Street Style



Figura 12: Street Style

Auriculares diseñados para escuchar música en reproductores de audio portátil

2.3.7 Clip On



Figura 13: Clip On

Auriculares con un clip que soporta el armazón del auricular con el fin de tener mayor comodidad.

2.3.8 Ear Canal Headphone



Figura 14: Ear Canal Headphone

Auriculares que se extienden en la parte interna del canal auditivo.

2.3.9 Noise Canceling Headphones



Figura 15: Noise Canceling Headphones

Auriculares que tienen suficiente insonorización o aislamiento para evitar daño por ruido excesivo, se utilizan mucho en los aviones.

2.4 REGLA DEL 60:60

Según El doctor Navarro, otorrinolaringólogo del Hospital Donostia, con unos auriculares. [USOZ], utilizar los dispositivos de audio portátil con el 60% del nivel total del reproductor, durante 60 minutos minimiza el riesgo de la pérdida de audición, cabe aclarar que estos estudios están realizados con base en características estadísticas.

2.5 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

Una función de transferencia es un modelo matemático utilizado para comprender y comparar la señal de entrada de un sistema, con la salida del mismo, este tipo de función es utilizada para saber que tanto el sistema de entrada está afectando la señal.

En la codificación de audio es utilizada, para saber que tanto el formato de la señal esta deformando la señal original.

En el emulador se utiliza una función de transferencia para determinar, con una señal predeterminada, que tanto se está afectando el oído interno, en un ancho de banda, que en este caso es de 20Hz a 20KHz.

2.6 MARCO LEGAL O NORMATIVO

Al hacer la búsqueda de la normativa para auriculares en el mundo, se debe tener en cuenta la definición de audífono y auricular; entendiendo como audífono, la parte física, para ayudas auditivas, y auricular, entendido como, superficie externa que sirve para proteger, aislar y escuchar música.

En la normativa mundial se tienen las siguientes normas:

- IEC-268-7 “Equipos para sistemas electroacústicos. Parte 7: Auriculares y cascos con micrófono.” Esta norma aplica para auriculares (*headphones*), receptores de cabeza (*headset*), auriculares (*barbudos*) y receptores de oído (*earset*). Esta norma aplica para instrumentos de pre amplificación, fuentes, y demás características que hagan parte de sistema del auricular.
- IEC 60318-3 (1998 “Electroacústica. Simuladores de cabeza y oído humanos. Parte 2: Acoplador acústico provisional para la calibración de auriculares utilizados en audiometrías en la gama de alta frecuencia extendida.”

En estas normas esta especificado como debe ser incluido los parámetros del producto, métodos de medición, caracterización, y la forma como el transductor debe acoplarse al oído, para que esto se presente en el paquete de especificaciones en el manual de usuario del dispositivo.

En la normativa Colombiana se tienen las siguientes normas:

- NTC-4625 “especificación de las características de los audífonos”.
- NTC-4626 “Audífonos, medidas de las características de desempeño de los audífonos para inspección de calidad con propósito de entrega”.

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de este proyecto es Empírico-analítico, ya que lo que se busca es darle herramientas a las personas basadas en la realidad, con el fin de analizarlas y que se puedan utilizar para la evolución de los dispositivos de audio portátil, se trata de evitar los riesgos producidos por los auriculares, cuando se utilizan de manera prolongada, dando una explicación basada en estudios médicos y estadísticos del comportamiento del oído frente al ruido y emulando el sistema de traducción que se genera al usar esta serie de mecanismos.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

La línea de investigación de este proyecto está basado en las Técnicas actuales y sociedad, ya que el estudio está basado en técnicas de medición ya realizadas, y la combinación de estudios médicos y estadísticos sobre el riesgo de utilizar los auriculares de dispositivos de audio portátil de manera prolongada.

La sublínea de la facultad es Procesamiento de señales digitales y/o analógicas, ya que el estudio teórico está basado en el análisis y el comportamiento de las ondas sonoras, filtrado, registro, reproducción, por medio de instrumentación basada en dispositivos análogos y digitales.

El campo de investigación del programa es de Acústica, ya que está relacionado con el comportamiento del órgano auditivo frente a factores externos, las consecuencias dañinas que pueda causar esto. Basándose en definiciones dadas por la acústica como ciencia; espectro en frecuencia, nivel de presión sonora, entre otros. También brinda la posibilidad de adecuar el emulador bajo parámetros dados para la instrumentación necesaria a la hora de medir auriculares.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Para la investigación, la población son los auriculares, ya que es importante realizar un sondeo de las tecnologías que están actualmente en el mercado.

3.3.1 Auricular gama alta (Sony MDR-7506)



Figura 16: SONY® MDR-7506

Datos relevantes:

Impedancia	63 Ω
Sensibilidad	106 dB/mW
Tipo	Circumaurales

Tabla 1: Especificaciones SONY® MDR-7506

Este tipo de auriculares son utilizados en los grandes estudios del mundo, consta de una excelente sensibilidad y respuesta, también tiene un buen aislamiento, la respuesta en frecuencia tiene comportamientos, que para muchas personas son apropiadas para monitoreo en estudios de grabación y en sonido en vivo.

3.3.2 AURICULAR GAMA MEDIA (Sony MDR-V300)



Figura 17: SONY® MVR-V300

Datos relevantes:

Impedancia	24 Ω
Sensibilidad	100 dB/mW
Tipo	Circumaural

Tabla 2: Especificaciones SONY® MVR-V300

Este tipo de auriculares es utilizado por personas en estudios, para monitoreo de televisión, y para escuchar música, gracias a la comodidad del auricular en el pabellón, tienen una sensibilidad adecuada para ser un auricular de gama media, la respuesta en frecuencia revela en comparación con los de gama alta, que en los bajos y frecuencias medias, responden de una manera más alta, esto se debe a la calidad y respuesta del transductor, el pico de sintonización del oído es estable, ya que no tienen ningún contacto con el conducto auditivo.

3.3.3 Auricular Gama Económica



Figura 18: Gama Económica

Datos relevantes:

Impedancia	40 Ω
Sensibilidad	n/a
Tipo	Earbud

Tabla 3: Especificaciones Gama Económica

Este tipo de auricular es comúnmente utilizado por las personas que compran reproductores de audio portátil genéricos, su manufactura es muy barata por ende no trae ningún tipo de instrucción ni de especificación del transductor. La respuesta en frecuencia es pobre, los bajos y las frecuencias muy altas son de bajo desempeño, por otro lado, hay picos resonantes cercanos a la frecuencia de resonancia del oído, lo cual puede causar molestias.

3.3.4 Auricular Genéricos (Creative Labs Ep-630)



Figura 19: CREATIVE® EP-630

Datos relevantes:

Impedancia	16 Ω
Sensibilidad	106 dB/mW
Tipo	In-ear

Tabla 4: Especificaciones CREATIVE® EP-630

Este tipo de auricular está diseñado para reproductores de audio portátil específicamente, su diseño In-ear genera un comportamiento casi lineal en frecuencias medias bajas, en frecuencias altas, la resonancia del tubo canal auditivo es desplazada, ya que por el diseño el canal se acorta, permitiendo una acentuación en frecuencias tales como 6,3KHz, esto es exactamente el doble de la frecuencia de resonancia del pabellón emulado.

3.3.5 AURICULAR SONY DE FABRICA (Dispositivo NW-A1200)



Figura 20: SONY® NW-A1200

Datos relevantes:

Impedancia	18 Ω
Sensibilidad	n/a
Tipo	earbud

Tabla 5: Especificaciones SONY® NW-A1200

Este tipo de auricular viene de fábrica para la mayoría de los reproductores de audio portátil SONY de la serie NW-A1200, en las especificaciones de reproductor no hay datos ni especificaciones claras de los auriculares, se puede apreciar una respuesta con dos picos resonantes en 1,6Khz y en 6.3Khz.

3.3.6 AURICULAR SONY ERICSSON HPM-70 (Dispositivo Celular)



Figura 21: SONY ERICSSON® HPM-70

Datos relevantes:

Impedancia	32Ω
Sensibilidad	n/a
Tipo	In-ear

Tabla 6: Especificaciones SONY ERICSSON® HPM-70

Este tipo de auricular es utilizado por las personas que compran un celular que posee ventajas de reproducción de audio, las especificaciones de estos auriculares no se encuentran en los datos del dispositivo, sin embargo la respuesta en frecuencia es plana a pesar del tamaño, el diseño modifica nuevamente la frecuencia de resonancia del pabellón artificial, haciendo que el pico máximo sea en un ancho de banda de 6.3 Hz hasta los 10KHz, dando una sensación estridente al oyente, las frecuencias bajas son compensadas por el diseño también, generando ruidos por transmisión sólida, al obstaculizar por completo el canal auditivo.

3.3.7 AURICULAR IPOD FABRICA (Dispositivo Ipod Nano)



Figura 22: IPOD® Nano

Impedancia	34Ω
Sensibilidad	n/a
Tipo	Earbuds

Tabla 7: Especificaciones IPOD® Nano

Auriculares fabricados por Macintosh para IPOD, son los más usados mundialmente ya que vienen con los reproductores, su diseño es discreto, pero tiene varias falencias en cuanto a su respuesta, tiene picos resonante en 1,6KHz y 6,3KHz, dando una sensación de aturdimiento al elevar el nivel del reproductor, los bajos tienen una sensación de redundancia en frecuencias medias, ya que la mayoría de información de los auriculares se encuentra entre los 160HZ y 1.6KHz.

3.4 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE NIVEL DE CADA AURICULAR DEPENDIENDO DEL SISTEMA DE AUDIO PORTÁTIL

Para definir el comportamiento de los auriculares dependiendo de sistemas o reproductores de audio portátil, se selecciona la muestra dependiendo del tipo de auricular, en este caso se dividen en tres secciones:

- Circumaural
- Ear-Bud
- In-ear

En este caso, se escogieron tres tipos de sistemas o reproductores de audio, para comprender mejor su funcionamiento, se da una tabla de especificaciones:

3.4.1 Macintosh IPOD NANO (Tercera Generación)



Figura 23: MACINTOSH IPOD NANO®

Tamaño	69.8 mm) X (52.3 mm) X (6.5 mm)
Peso	49.2g
Formato de Audio	AAC (16 to 320 Kbps), Protected AAC (from iTunes Store), MP3 (16 to 320 Kbps), MP3 VBR, Audible (formats 2, 3, and 4), Apple Lossless, WAV, and AIFF
Ecuación	Si
Limitador	Dinámico*
Video	Si
Capacidad	4Gb

Tabla 8: Especificaciones MACINTOSH IPOD NANO®

*El limitador dinámico quiere decir que la persona escoge hasta donde el nivel máximo del reproductor puede subir, esto es sin ningún criterio, ni acomodado a ninguna regla mundial.

3.4.2 SONY NW-A1200 (WALKMAN MP3 Segunda Generación)



Figura 24: SONY® NW-A1200

Tamaño	(5.5 cm) X (8.8 cm) X (1.9 cm)
Peso	109 g
Formato de Audio	WMA, ATRAC3plus, MP3, ATRAC3
Ecuación	Si 6 bandas
Limitador	Fijo*
Video	No
Capacidad	8Gb

Tabla 9: Especificaciones SONY® NW-A1200

*El limitador fijo está ligado a reglas interpuestas por Sony para evitar el daño auditivo al oyente, este tipo de sistema se llama AVLS por sus siglas en ingles "Automatic Volume Limiter System"

3.4.3 QBOZ (Reproductor Genérico fabricado en China)



Figura 25: QBOZ®

Tamaño	(9cm) X (3.7cm) X (1.7cm)
Peso	80 g
Formato de Audio	WMA, MP3, WAV
Ecualización	Si
Limitador	No
Video	Si
Capacidad	1Gb

Tabla 10: Especificaciones QBOZ®

3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En la investigación se van a utilizar sistemas basados en la recreación espectral de las ondas sonoras, cuando estas llegan al oído. Para realizar el emulador se necesitara construir el pabellón auditivo, basándose en las condiciones morfológicas y fisiológicas de un pabellón natural. La forma como se va a medir va a ser bajo una estructura, en la cual se pueda incrustar de manera adecuada el micrófono de medición. Este micrófono tiene una serie de condiciones para adaptarse a las necesidades de la medición, y tener una toma de datos de la mejor manera posible.

Se usara una técnica de recolección, utilizando diez (10) repeticiones por cada auricular en las diferentes fases de medición. Posterior a esto se realizara un

promedio de todas la repeticiones y se grafica (FRECUENCIA en Hz VS. NIVEL en dBA SPL). La cantidad de datos dará el nivel de confianza, que aproximadamente es del 95%.

El sistema está diseñado de la siguiente manera:

Realización de un sistema de medición basado en un pabellón auditivo.

El sistema de medición consta de:

- Micrófono de medición
- Amplificador
- Conversor análogo digital
- Procesamiento de la señal
- Esquematización de la señal
- Toma de resultados por medio de un ordenador

Los datos obtenidos por medio de este sistema se analizaran y se realizara una tabla comparativa de los diferentes auriculares medidos para su respectiva comparación.

3.6 HIPÓTESIS

De acuerdo con las investigaciones de pérdida auditiva por diferentes tipos de ruido, se comprobará, por medio de un emulador de un pabellón auditivo humano, que la señal producida por un auricular de un dispositivo de audio portátil y su uso prolongado, puede causar daños irreversibles al oído, las condiciones variables de la medición se encuentran en los auriculares, ya que tienen una extensa variedad de diseños, formas y condiciones eléctricas que pueden modificar la forma de incidencia de las ondas de sonido en el oído. Cabe aclarar que, como es un emulador, no hay personas que puedan estar afectadas directamente por la medición, sin tener que llegar a causar ningún daño auditivo a oídos reales.

3.7 VARIABLES

3.7.1 Variables Independientes

Diseño y variedad de auriculares en el mercado
Diferentes tipos de dispositivos de audio portátil o reproductor de música
Condiciones externas de ruido para la medición

3.7.2 Variables Dependientes

Micrófono de medición
Ensamble del sistema de medición
Software de medición

4. DESARROLLO INGENIERIL

Para realizar el pabellón auditivo humano, se modeló con el fin de reconocer cada uno de los laberintos y formas complejas del pabellón, esta modelación se hizo a mano teniendo en cuenta las medidas y las proporciones de un pabellón auditivo real.

El modelo normativo que se siguió para el diseño de pabellón auditivo real surgió de los estudios anatómicos de la ciencia de la medicina, que aproximan un tamaño con condiciones raciales, sin embargo lograr hacer un estándar para todas las razas y las variedades de formas y tamaños se considera inexacto y poco probable.

Por consiguiente, examinando más a fondo la cadena de elementos simulados, se llega a las siguientes condiciones:

Pabellón Auditivo: El pabellón auditivo utilizado se diseñó teniendo en cuenta condiciones morfológicas reales de un ser humano de género masculino de aproximadamente de 30 años, a esta edad el promedio de tamaño normal, el cual depende de la estatura y las cualidades faciales, es de 5,5 y 7cm, definiendo un tamaño normal para el pabellón del emulador se utilizó 7 cm. Los materiales utilizados para realizar la construcción del pabellón son:

- Gesso en polvo para modelar
- Látex natural
- Plastilina genérica
- Pegante o sellador para madera

El procedimiento de construcción comprende la realización del molde base, utilizando pabellones auditivos reales, una vez teniendo el molde, se procede a realizar muestras con látex únicamente, este tipo de pabellones tienen un problema, reaccionan frecuentemente a la temperatura, por esta razón se utiliza un cimiento en plastilina genérica, realizando el pabellón completo en plastilina, dejándose endurecer, posterior a esto se utiliza una capa de un milímetro de Látex aproximadamente, esto con el fin de darle flexibilidad y mantener la consistencia de la plastilina sin que se quiebre, por otro lado el procedimiento de secado es de aproximadamente 2 días, siguiendo con el procedimiento se utiliza un pegante o sellador para madera, esto con el fin de sellar o fijar el látex para que no reaccione

a la temperatura, sin perder la flexibilidad y consistencia del pabellón, la capa que se le proporciona es de 2 milímetros, respetando la proporcionalidad del diseño original.

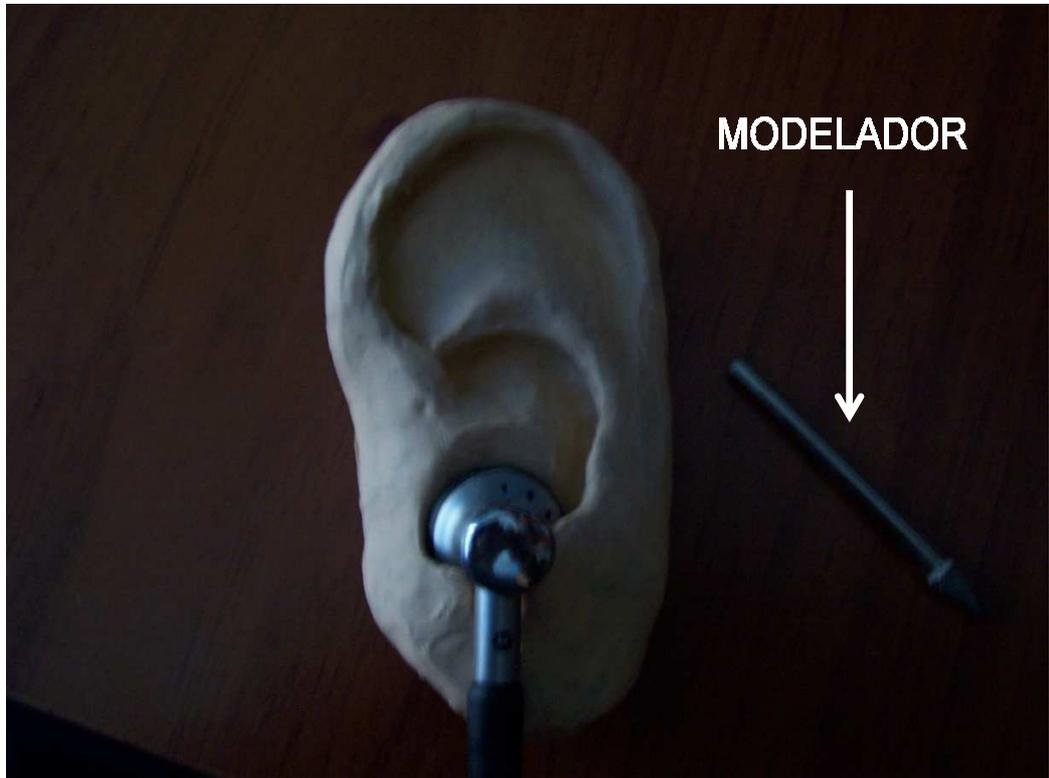


Figura 26: Modelación del pabellón auditivo (plastilina).

El molde realizado se perfecciona con un modelador, el cual pule y rectifica la plastilina con el fin de dar una superficie tersa y suave, el auricular tiene que incrustar perfectamente para el óptimo funcionamiento, cabe aclarar que en un pabellón real, el auricular puede incrustarse de maneras diferentes, esto se debe a la gran variedad de formas y tamaños.

El emulador trata de acercarse o de aproximarse al funcionamiento real, lo que quiere decir que en muchos casos hay características que pueden afectar. Este tipo de circunstancias hacen parte de la aleatoriedad de la naturaleza humana.

El proceso de construcción del tubo sintonizado comprende materiales básicos, en este caso se utiliza una manguera de nivel manipulada en construcciones arquitectónicas. Las condiciones de este tubo se realizaron de acuerdo a la teoría

de tubos o cavidades resonantes, para realizar una sintonización de 3150 Hz, la longitud de este tubo esta aproximadamente entre los 2,5 y 3 centímetros, sin tener en cuenta la longitud de incrustación del micrófono, ya que este tiene que entrar a presión sin dejan ninguna cavidad de aire entre el micrófono y la manguera.

Las características de resonancia de este tubo se encuentran regidas bajo aspectos seleccionados en el libro *Anatomía con orientación clínica de Keith L. Moore*, y del artículo *Sistema Auditivo Periférico de la Página web: <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/sap.html>*.

El modelado del tubo curvo se realiza utilizando calor, para este procedimiento hay que ser cuidadoso con el material, ya que el exceso de calor puede debilitar mucho la tensión superficial, y romperse quedando inservible. El sistema de paneles para la medición o armazón del sistema de medición se hizo bajo los siguientes parámetros

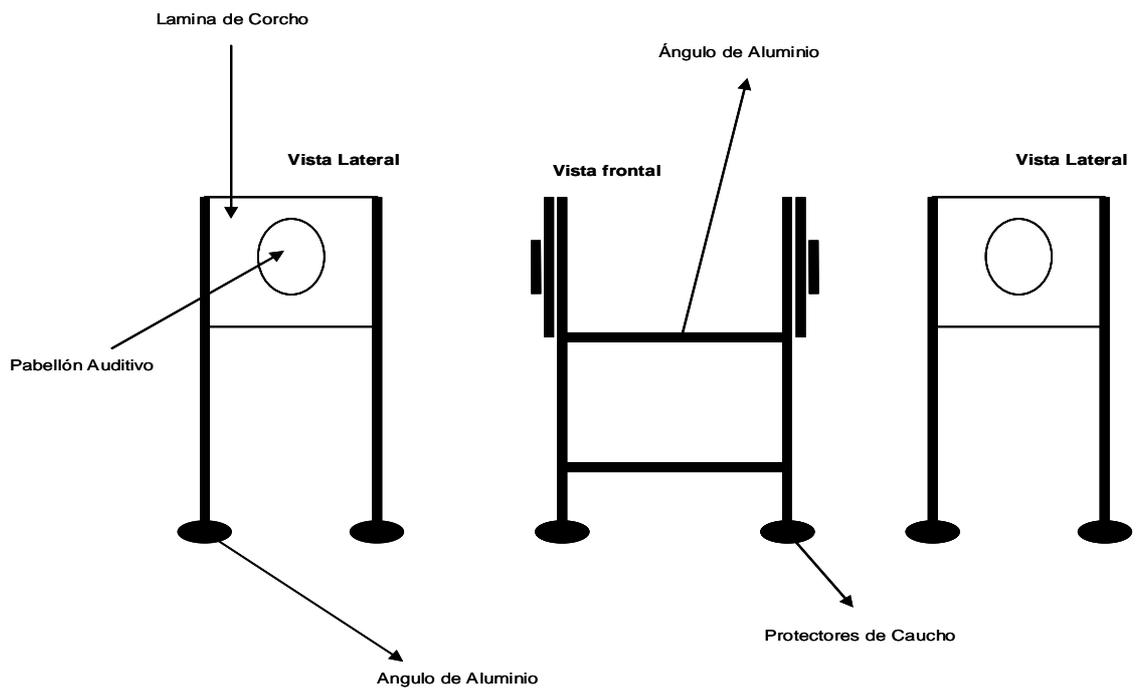


Figura 27: Esquema de partes del sistema de medición.

El sistema de medición se realizo de una manera minuciosa con el fin de brindar una durabilidad prolongada, ya que el uso constante de los materiales tiene como

consecuencia la ruptura y el deterioro, causando errores sistemáticos en las mediciones.

No se utiliza una cabeza completa ya que la medición de cada auricular y cada pabellón se hizo por separado, la razón de este es porque es mejor sintetizar los datos de un solo pabellón a la vez ya que se eliminan errores, sobre carga del sistema y errores de procedimiento, sin embargo, el sistema esta creado para emular una un oído artificial con condiciones anatómicas reales.

4.1 SINTONIZACIÓN DEL TUBO

Para sintonizar el tubo se recomienda utilizar la siguiente ecuación:

$$L = \frac{C}{4 \cdot Fn}$$

Ecuación 3: Tubo sintonizado.

Donde: L es la longitud del tubo, C es la velocidad del sonido y Fn la frecuencia de resonancia

Es necesario utilizar dicha ecuación ya que el tubo sintonizado del emulador tiene diámetros variables.

En este caso la frecuencia de resonancia es de 3150 Hz , la velocidad del sonido es de 340 m/s y la longitud del tubo es de $0,0269 \text{ m}$ o $2,69 \text{ cm}$

4.2 Montaje y calibrado del sistema:

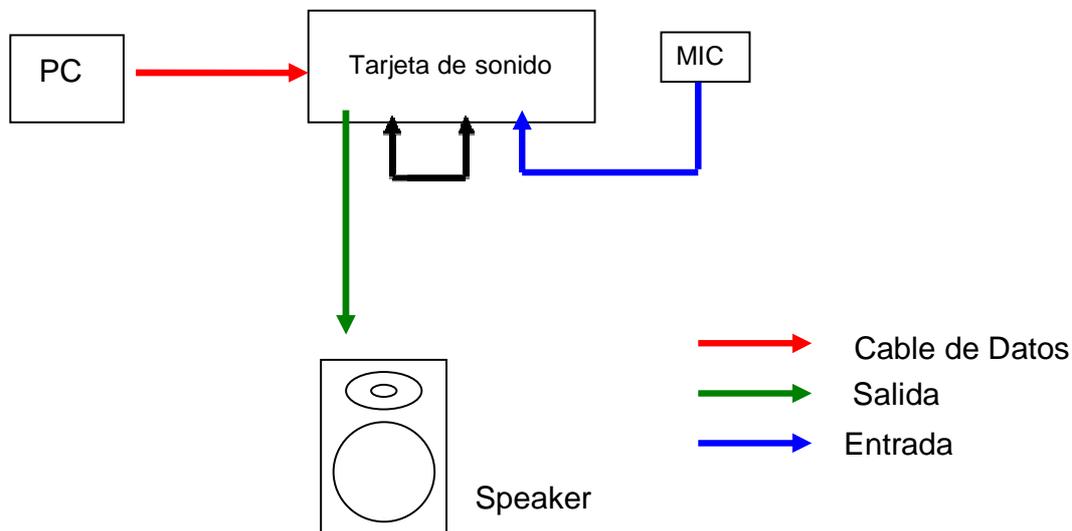


Figura 28: Esquema para el sistema de medición.

Junto a esto en el micrófono hay un sistema de simulación de un oído externo en condiciones reales ya mencionado, esto con el fin de resaltar la realidad del comportamiento del sonido en el momento en el que llega al oído medio.

Las especificaciones de los equipos utilizados son:

1. PC: AMD ® Alhton X2 600+ (3.01GHz), 2 Gb RAM DDR2, Puerto FIREWIRE.
2. Tarjeta de sonido: M-Audio FIREWIRE 410 ® (Frecuencia de Muestreo 96KHz)
3. Micrófono: BEHRINGER ® ECM 8000 (Micrófono de medición).
4. Software: PHS SpectraPLUS ® versión 5.0 (DEMO).

4.3 CRITERIOS DE MEDICIÓN

Para realizar las mediciones en el emulador, se debe tener en cuenta las condiciones de medición, es decir, que se desea medir, en esta parte de la investigación se utilizan los siguientes parámetros o criterios para medir:

4.3.1 Aislamiento

Esta medición revela que tanto tiene de aislamiento el auricular al estar posicionado en el pabellón, esta medición consta de dos fases, en la primera se tendrá en cuenta el nivel sin el auricular, y en la segunda se obtendrá el nivel del mismo ruido pero con el auricular puesto. El procedimiento consta de una fuente a 85 dB con ruido rosa generado, la posición del sistema es a un metro de distancia, como consecuencia los resultados que arroja el sistema son de aislamiento bruto en condiciones normales y reales.

4.3.2 Respuesta en frecuencia

La respuesta en frecuencia recrea las posibilidades del auricular al ser sometido a un barrido de frecuencias, en el ancho de banda audible en el oído, y del mismo modo, mostrar cómo afecta a este la sintonización del tubo. El procedimiento consta de generar un barrido de frecuencias de 20 Hertz a 20 KHertz haciendo mediciones del comportamiento en frecuencia del auricular en el oído, cabe aclarar que esta respuesta no es la del transductor del auricular, sino la respuesta de este mismo dentro del sistema humano de audición.

4.4 Comparación de niveles del Reproductor de audio (Máximo, Regla 60-60, Limitador)

En esta fase de experimentación se muestra como el nivel de los audífonos junto a su respuesta en frecuencia puede afectar directamente al oído, basándose en los límites permisibles según la organización mundial de la salud.

El procedimiento de esta medición fue basada en tres tipos diferentes de reproductor de audio portátil, existentes en el mercado.

Los datos que se obtienen de las fases de medición anteriormente mencionadas se encuentran en dB SPL (Decibeles de presión sonora), ya que el oído humano percibe cambios de presión en el aire, cabe aclarar que el proceso final de la función de transferencia es en un formato digital, es decir que existe una conversión de presión sonora a voltaje, esta conversión la realiza el micrófono, para el oído humano los niveles de presión también son traducidos a impulsos eléctricos, los cuales son asimilados por el cerebro y se da la sensación de escucha.

En esta fase existe una comparación, el sistema de medición puede arrojar datos por la frecuencia que se quiere, sin embargo el oído humano se comporta diferente, ya que solo la diferenciación de frecuencias se hace por paquetes, es decir que para el oído humano es difícil diferencial entre 1000 Hz y 1050 Hz.

4.4.1 Criterios de selección

El objetivo de la investigación es emular un oído humano con el fin de explicar y determinar los factores de riesgo, por el uso prolongado de auriculares de dispositivos de audio portátil, para esto se debe hacer mediciones con base en un sistema de emulación.

Las características más importantes del sistema de medición son:

1. Pabellón auditivo
2. Micrófono de medición (ECM8000)
3. Conversor AD (M-audio Firewire 410)
4. PC software de medición en espectro de frecuencia en tiempo real

Para lograr que este sistema de medición funcione adecuadamente debe tener una serie de parámetros de calibración, el software debe mostrar debidamente los datos reales que se encuentra en el pabellón auditivo al someterlo a un auricular con condiciones reales.

La elección de los dispositivos está ligada a los siguientes aspectos:

Dispositivos de Audio Portátil

QBOZ (Genérico Fabricado en China): este dispositivo es escogido gracias a su precio que frente a otros es barato, también por la clase de partes electrónicas, ya que en este tipo de dispositivos se utilizan piezas de diferentes casas electrónicas, como Philips y Hitachi entre otras.

SONY NW-A1200: el criterio de escogencia de este dispositivo es básicamente por trascendencia en el mercado, como es bien sabido por los usuarios, SONY es la pionera en este tipo de reproductores, desde la aparición del Walkman de casete.

IPOD NANO (tercera Generación): El criterio básico para escoger este reproductor es de comercialización masiva, como se sabe por muchos usuarios, Ipod es el más vendido y por este tipo de reproductores la empresa ha tenido más reconocimiento en el mercado en los últimos 5 años.

Auriculares:

Gama Alta (SONY MDR-7506) Estos auriculares son escogidos bajo el criterio de las personas que trabajan con sonido, ya sea en vivo o a nivel de estudio, la trascendencia del uso de este auricular los ha marcado como leyenda en el sonido.

Gama Media (SONY MDR-V300) Estos auriculares son escogidos gracias a el diseño liviano y el tamaño, que para una gama Circumaural es efectiva, SONY los diseñó básicamente para reproductores de audio portátil y personas aficionadas con el sonido, como DJ's, etc.

Gama Económica Estos auriculares son escogidos gracias a su precio y lo fácil de adquirirlos.

GENÉRICOS (Creative Labs EP-630) Existen empresas como la Creative Labs que construyen auriculares basados en su tecnología, con el fin de aportar diferencias en el mercado, estas diferencias varían de acuerdo al precio y al diseño.

SONY FABRICA (NW-A1200) Se escogieron básicamente porque son los auriculares que vienen de fábrica con el reproductor.

IPOD FABRICA (IPOD NANO Tercera Generación) Se eligieron porque vienen con el reproductor.

SONY ERICSSON (HPM-70) La evolución de la telefonía celular a comprendido también el campo de la música, las personas prefieren tener en su teléfono móvil tanto fotos, videos, música, etc. Gracias a esto se escogieron estos auriculares.

Las mediciones de los dispositivos se hacen pabellón por pabellón, ya que el principio básico en la prueba es examinar que sucede con la respuesta en frecuencia y con el nivel, la espacialidad del pabellón no se está tomando en cuenta. Por esta razón hacer las fases de medición es más sencillo y el análisis más detallado.

Las condiciones del lugar de medición son basadas en la realidad, es decir que se utilizara un ruido de fondo no superior a 30 dB SPL, no se utilizara aislamiento ni condiciones medidas y controladas, esto con el fin de ver de manera más real y consecuente las variaciones de los datos.

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para comprobar que el sonido producido por dispositivos de audio portátil, tienen consecuencias a largo plazo en el oído humano, se deben tomar apreciaciones en tiempo real, con el fin de aumentar la legitimidad de la medición, y en por ende trabajar con datos verídicos y aproximables a las situaciones cotidianas de las personas a la hora de utilizar estos dispositivos.

Como fue dicho anterior mente el proyecto tiene cinco (5) fases de medición que relatan de manera cuidadosa el comportamiento del auricular en el oído, esto no quiere decir que es el comportamiento electrónico medible del auricular, ya que las condiciones de medición se refieren a un oído humano.

Las condiciones dadas para las mediciones se representan en el siguiente cuadro:

PARÁMETROS	CONDICIONES
Hardware	
Frecuencia de muestreo	96,000 Hz
ASIO/WMD Buffer	2048 Muestras
Software	
Frecuencia de muestreo	96000 Hz
Decimation Ratio	1
Tamaño de FFT	32768 Muestras
Sampling Format	24 Bits
Espectral Line Resolution	2930 Hz
Limite de frecuencia	48000 Hz
Suavizado	Hannig
Calibración	
Referencia	94 dB SPL en el aire
Unidades de referencia	SPL (dB re 20uPA) rms
Nivel de entrada detectada	20,5146 porcentaje en Full Scale
cantidad de canales	Monofónico
Configuración de Pantalla	
Amplitud del eje	Logarítmico
frecuencia del eje	1/3 de octava
Ponderación del Espectro	A

Tabla 11: de parámetros de medición, hardware, software y calibración.

Todas las fases de medición se hacen con ruido rosa, ya que el factor de muestra debe ser estándar para todos los auriculares, de este modo se puede comparar de una manera acertada. Para las mediciones se utilizó un archivo de Ruido Rosa a 128 KBPS en formato MP3 para ingresarlo al reproductor, se tomó este formato y resolución, ya que es el más utilizado por los usuarios.

5.1 Aislamiento Neto en frecuencia del Auricular

Para realizar esta prueba se utilizó una fuente, a un metro de distancia del sistema de medición, calibrada a 85 dB SPL, ya que la ensayo es de aislamiento neto, simplemente se utilizó el sistema con la fuente prendida sin ningún auricular, después se recreó la misma fuente, pero esta vez con el auricular. Esto demuestra la facultad del auricular en aislar el ruido de fondo en condiciones reales. Para niveles más bajos, es posible que el aislamiento se aumente, ya que este comportamiento es logarítmico.

La impedancia nominal de cada auricular es medida con un multímetro, asegurando las especificaciones del fabricante, en muchos de los casos el fabricante no presenta estas especificaciones, por esta razón es preciso medirlo y tenerlos en cuenta.

Basándose en los criterios de calibración anteriormente mencionados se realizaron las mediciones en condiciones de temperatura normal que oscilan entre los 19 y 22 grados Celsius, humedad entre 40 y 46 por ciento.

Los datos obtenidos se encuentran en gráficas de frecuencia vs. Nivel con el fin de apreciar el comportamiento del nivel en base a las variaciones de frecuencias, esta conducta no es proporcional a las gráficas que se dan en fábrica, ya que estos datos van ligados al comportamiento real del emulador.

Estos datos tienen una secuencia de orden que van desde el auricular de gama alta hasta los auriculares de Ipod®, se seguirá la misma secuencia de datos con el fin de comprender mejor el funcionamiento de cada auricular, a medida que se realizan las fases de medición.

Los datos obtenidos son los siguientes:

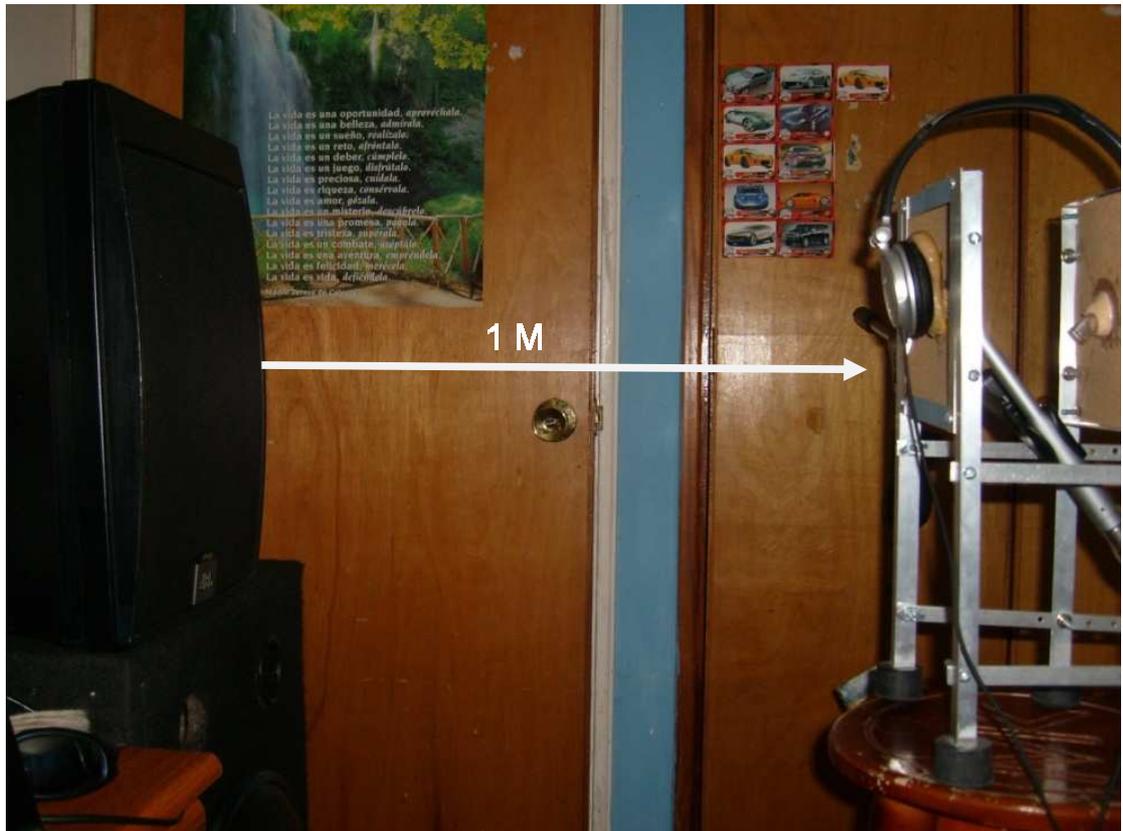
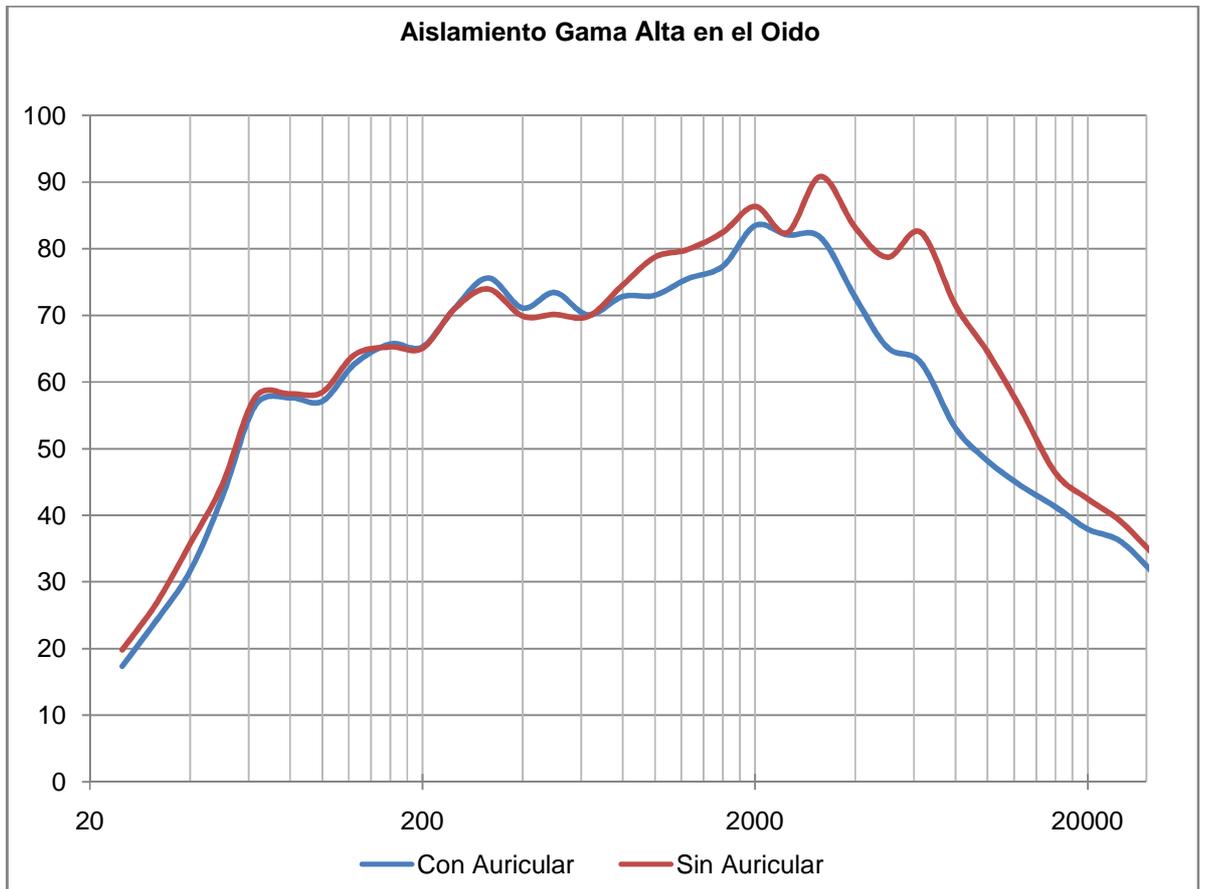


Figura 29: Esquema de medición de aislamiento neto con fuente a 85 dB SPL.

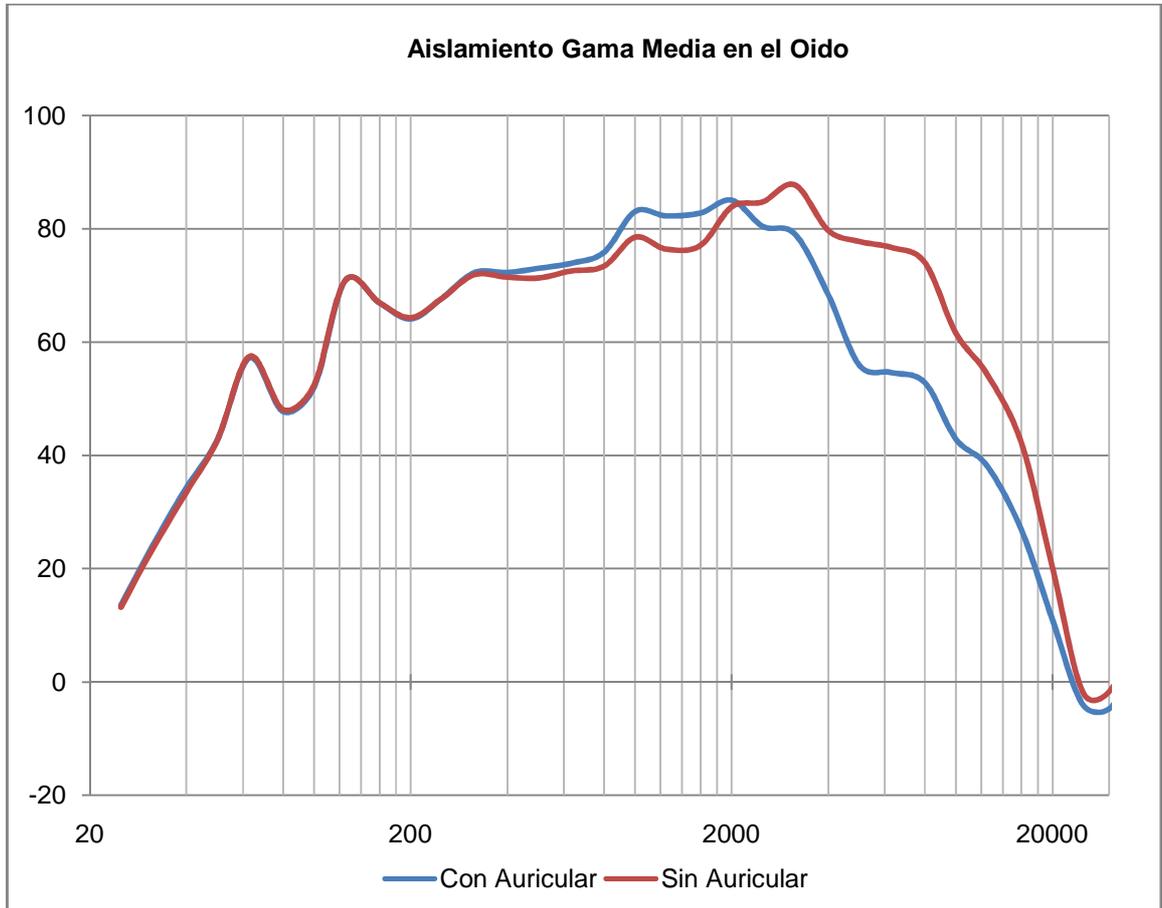
5.1.1 Auricular Gama Alta (Sony MDR-7506)



Grafica 1: aislamiento neto medido en el auricular de Gama Alta

Este tipo de auricular es utilizado como una fuente de monitoreo para sonido en vivo, por esta razón en el aislamiento neto, la grafica muestra una disminuci3n en la frecuencia de resonancia del alrededor de 8 dB SPL, haciendo una pendiente y aumentando aun mas a medida que sube la frecuencia. Muy pocas personas utilizan estos auriculares para escuchar m3sica, pero son una fuente de comparaci3n adecuada entre un auricular profesional y uno para uso cotidiano.

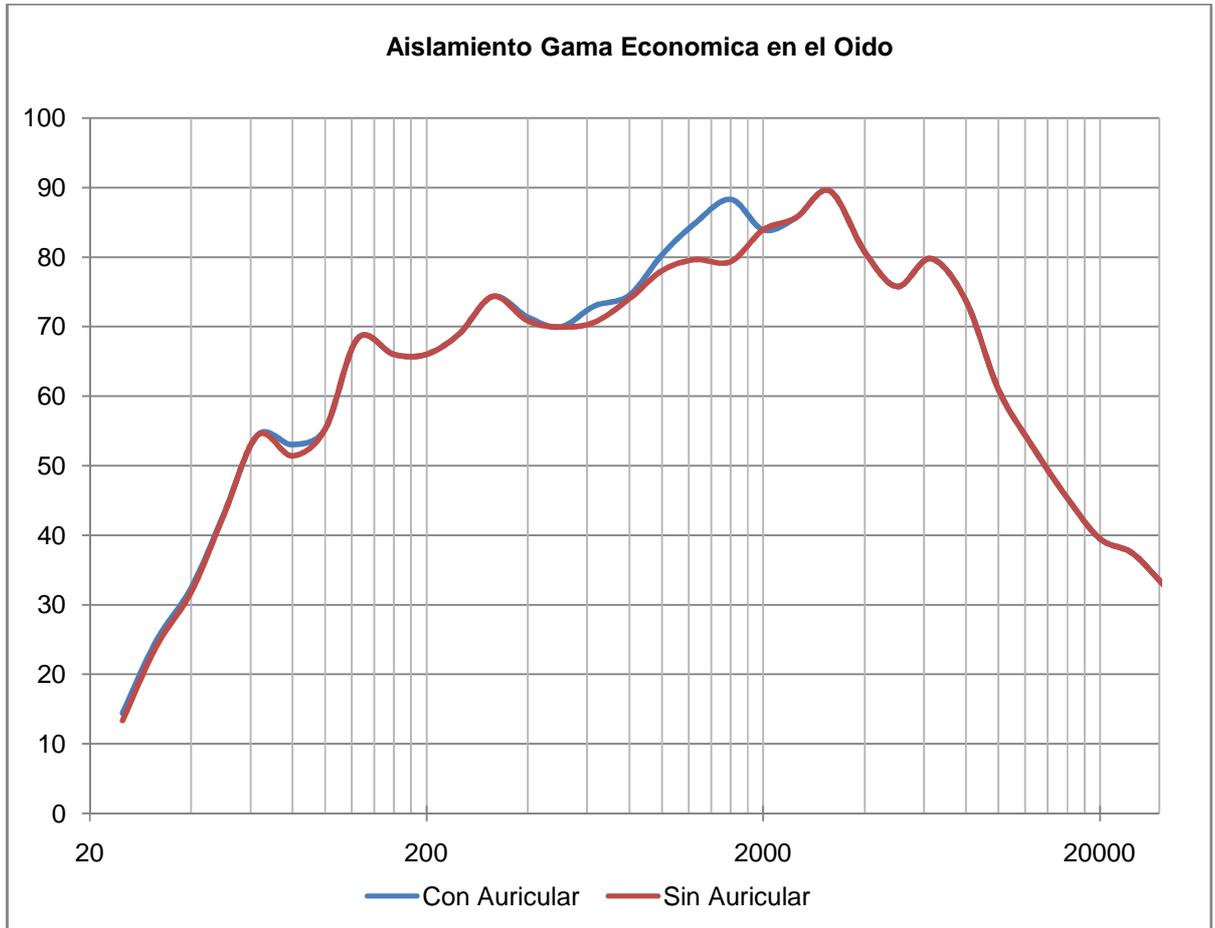
5.1.2 Auricular Gama Media (Sony MDR-V300)



Grafica 2: aislamiento neto medido en el auricular de Gama Media

Este tipo de auricular es comúnmente utilizado para monitoreo en estudio y para personas que trabajan en espectáculos como los Dj's, Como se puede observar el aislamiento es muy claro, empieza desde los 1600 Hz y decrece siguiendo la linealidad de la respuesta, esto es gracias al que el diseño del auricular es Circumaural, es decir que en ningún momento se obstaculiza el canal auditivo, por esta razón el aislamiento en frecuencias bajas es casi nulo. Por otro lado, la cavidad de aire que queda entre el pabellón y el auricular crea una compliancia que resuena haciendo un pico por encima de la señal original, esta señal está entre los 1000 Hz y los 1200 Hz.

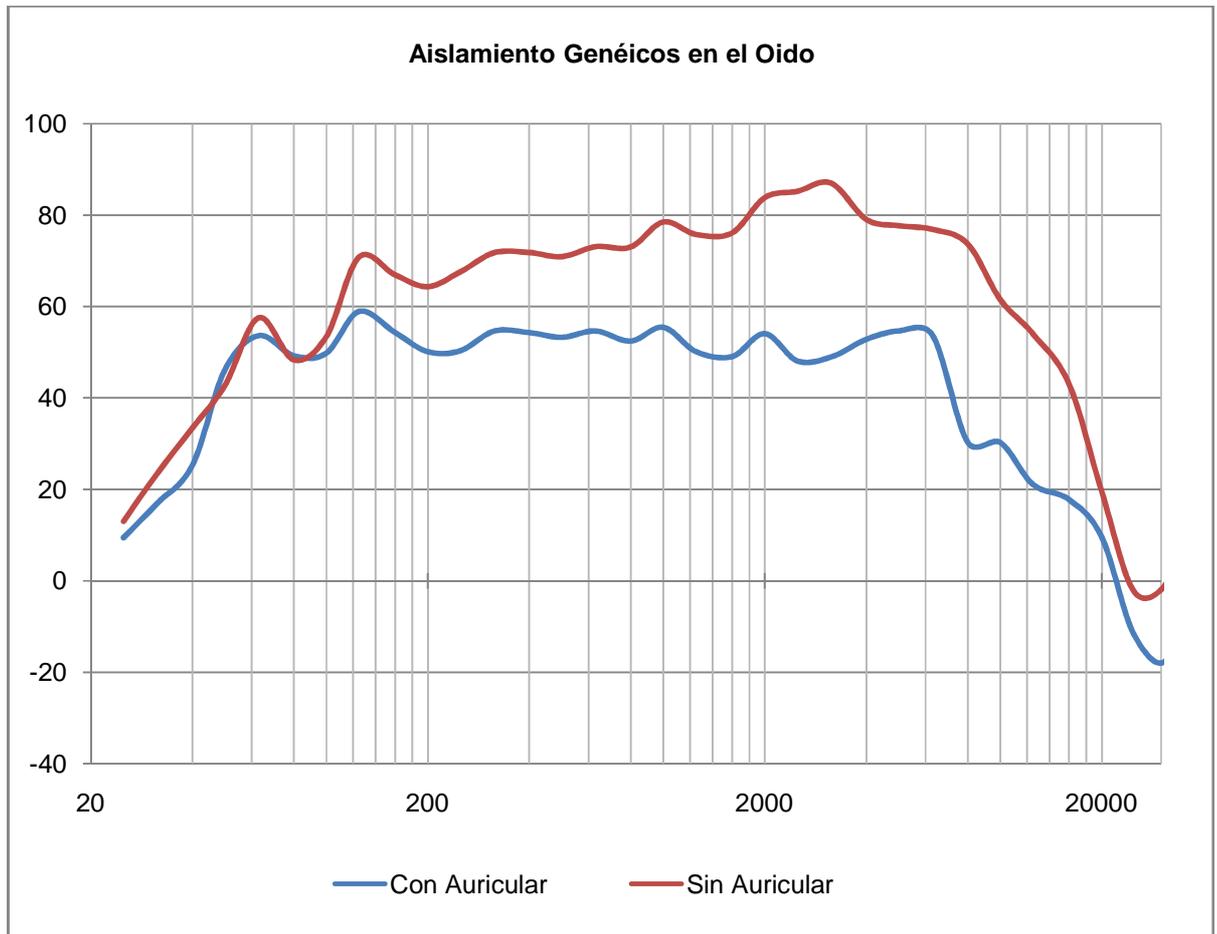
5.1.3 Auricular Gama Económica



Grafica 3: aislamiento neto medido en el auricular de Gama Económica

Este tipo de auricular es diseñado con fines comerciales, los materiales y el diseños no son los apropiados para ambientes de ruido, como se puede apreciar en la grafica el aislamiento neto del auricular es casi nulo, el diseño de este es un Ear-Bud, lo que quiere decir que en cierto modo obstaculiza el canal auditivo, pero al hacer esto lo que sucede es que la cavidad de aire que queda entre el tejido del canal y el plástico del auricular resuenan, es decir que existe una compliancia que genera armónicos de resonancia a parte de la frecuencia propia del canal, por esta razón se ven un pico de resonancia alrededor de los 1800 Hz.

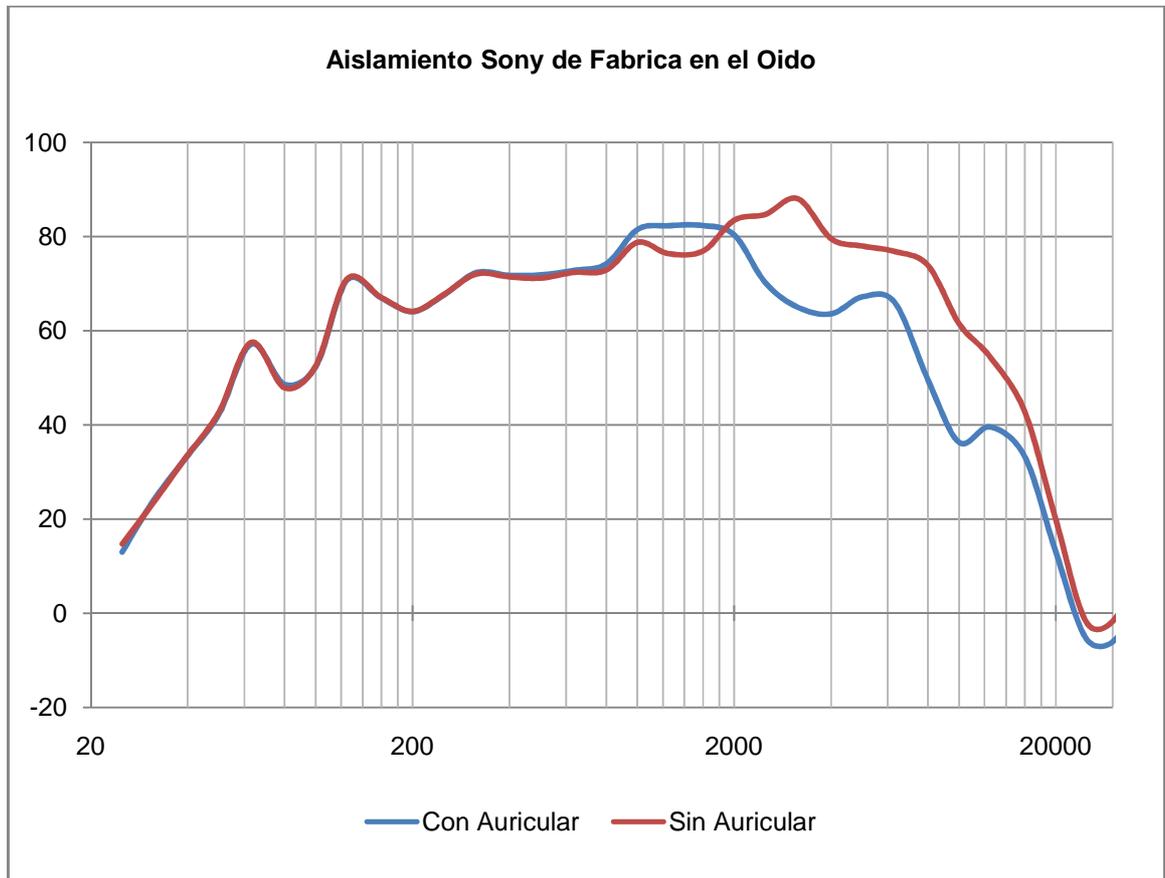
5.1.4 Auricular Genéricos (Creative Labs EP-630)



Grafica 4: aislamiento neto medido en el auricular Genérico

Este tipo de auricular fueron diseñados para escuchar música en reproductores de audio portátil, su diseño es In-Ear, esto quiere decir que hay un acondicionamiento flexible en la punta del auricular, sellando completamente el canal auditivo, por esta razón el aislamiento es tan pronunciado, empezando en 80 Hz, llegando a un nivel de aislamiento máximo de alrededor de 25 dB SPL. En frecuencias bajas no es tan notable el aislamiento ya que el auricular se comporta como un elemento de transferencia sólida, por lo que genera sensaciones de frecuencias bajas.

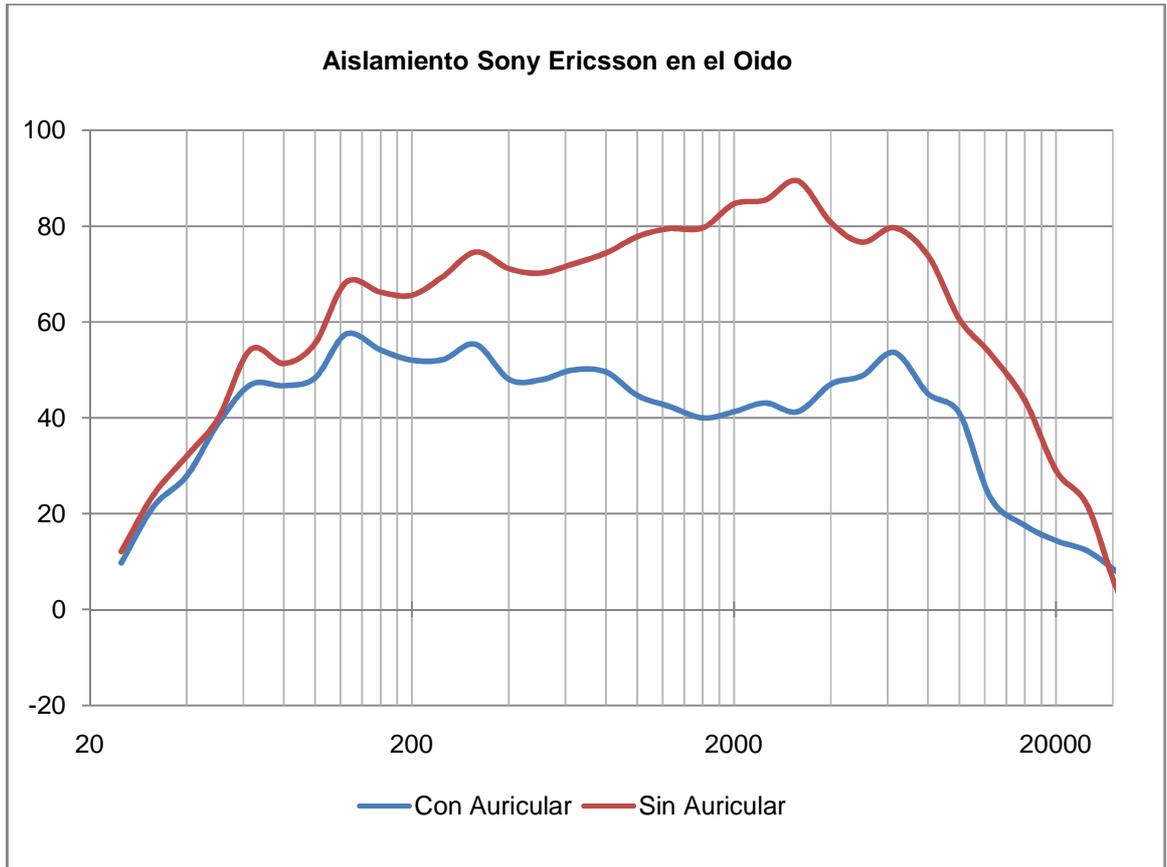
5.1.5 Auricular Sony De Fábrica (Dispositivo AW-1200)



Gráfica 5: aislamiento neto medido en el auricular SONY® de fábrica

Este tipo de auricular fue diseñado con condiciones netamente para escucha en dispositivos de audio portátil, el tipo de auricular es un Ear-Bud, lo que quiere decir que no sella completamente el canal auditivo, generando picos resonantes en armónicos diferentes, en este caso el armónico está alrededor de 100 Hz, pero en los 2000 Hz el aislamiento empieza a nacer llegando a un pico máximo de 15 dB SPL, este aislamiento se extiende hasta los 18000 Hz. En frecuencias bajas el aislamiento es casi nulo.

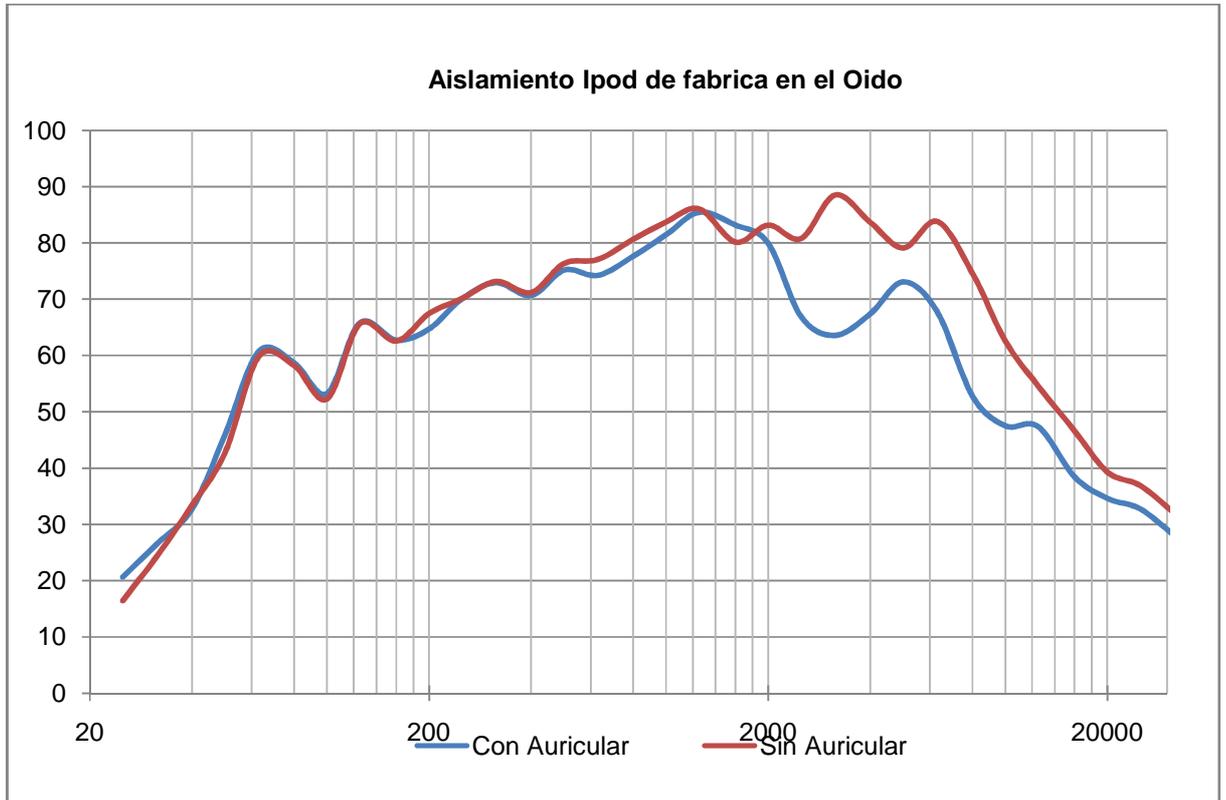
5.1.6 Auricular Sony Ericsson (Dispositivo Celular)



Gráfica 6: aislamiento neto medido en el auricular SONY® Ericsson

Este tipo de auricular fue diseñado para dispositivos celulares que reproducen música, el diseño es In-Ear lo que quiere decir que el canal auditivo es sellado precisamente por el acondicionamiento elástico del auricular, por esta razón el aislamiento abarca gran parte del espectro, comenzando en frecuencias cercanas a los 50 Hz y terminando en 20 KHz, creando un ancho de banda extenso, los picos de aislamiento oscilan entre los 40 dB SPL, la razón de esto es porque este tipo de audífonos entran mas en canal auditivo, y el sellamiento del mismo es casi hermético.

5.1.7 Auricular Ipod Fábrica (Dispositivo Ipod Nano)



Gráfica 7: aislamiento neto medido en el auricular IPOD® Nano

Este tipo de auricular está diseñado exclusivamente para el dispositivo de audio portátil IPOD, como el diseño del auricular es Ear-Bud, el aislamiento tiene un comportamiento muy parecido a los de otras referencias, se inicia en 2000 Hz llegando hasta los 20 KHz, el aislamiento oscila entre los 15 dB SPL, como ya ha sido mencionado el aislamiento en frecuencias bajas es casi nulo gracias a su diseño.

A continuación se enfrentaran los datos de respuesta en frecuencias de cada auricular teniendo en cuenta todas las condiciones reales anteriormente mencionadas

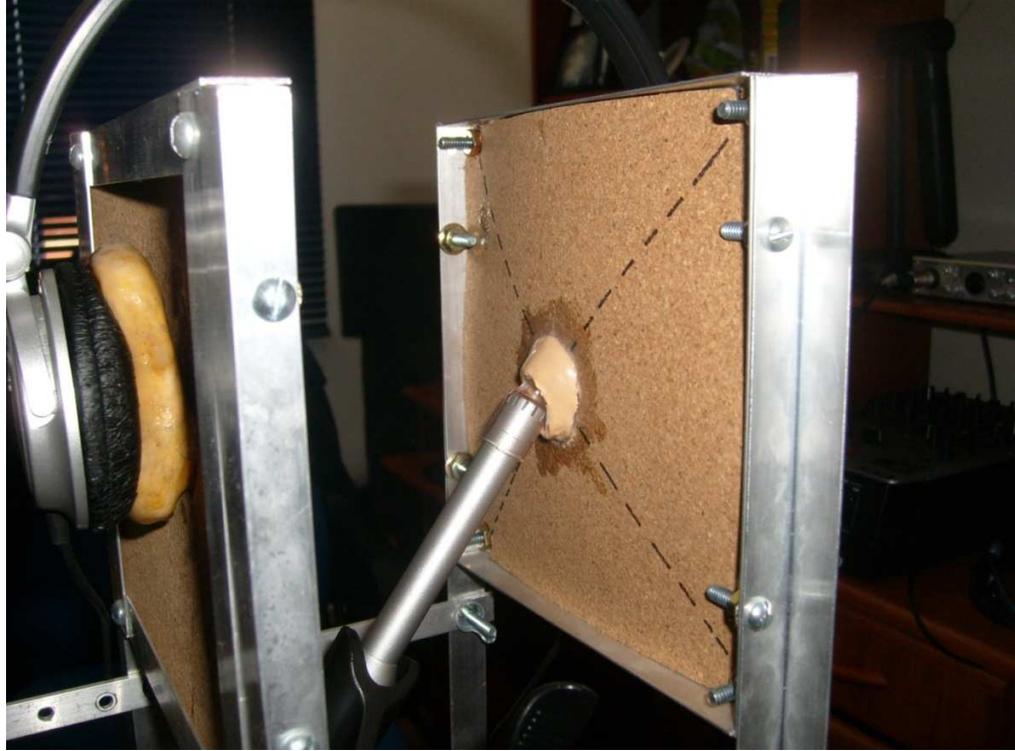
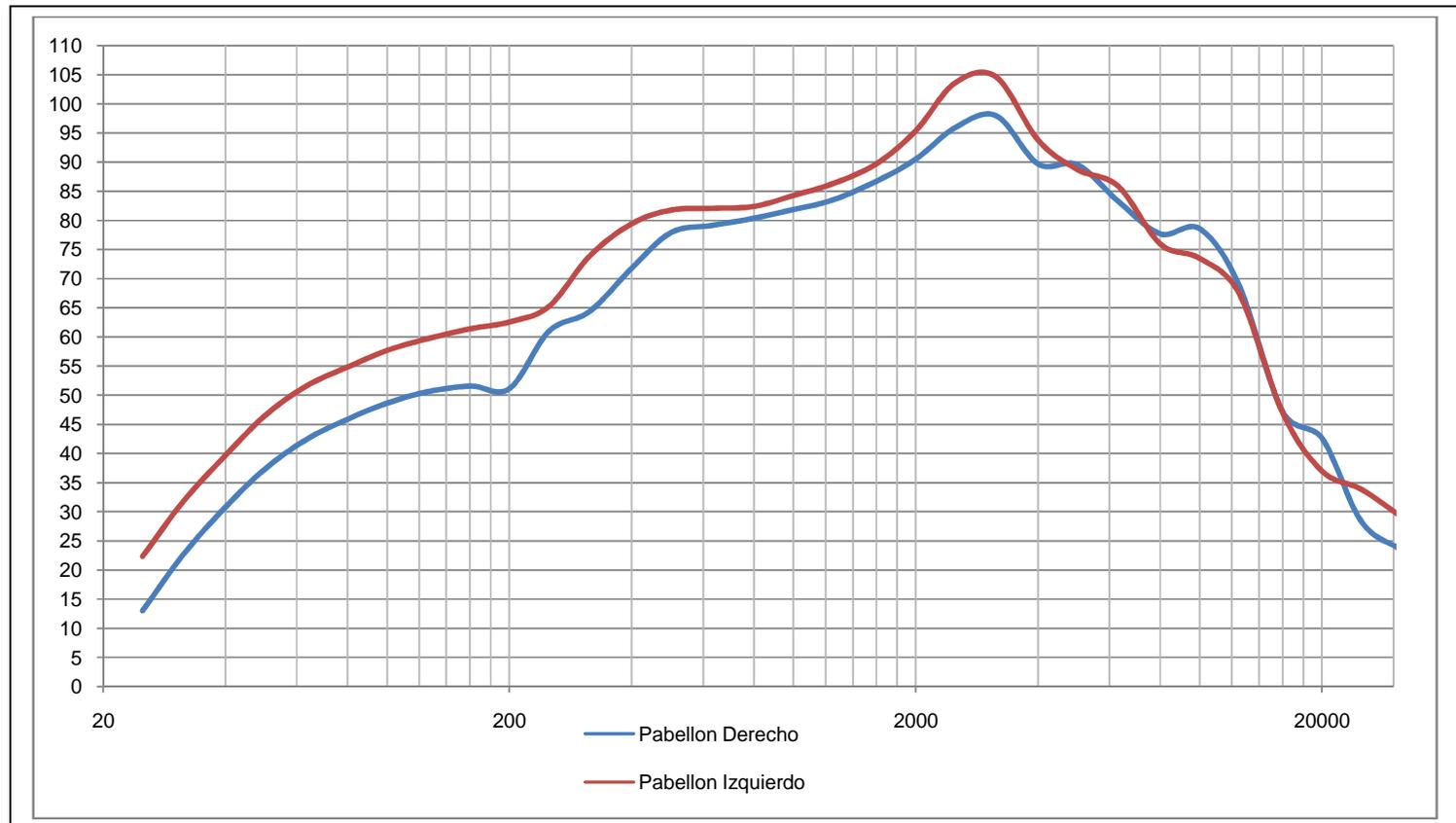


Figura 30: Esquema de medición de respuesta en frecuencia del .auricular en el emulador.

5.2 FASE DE RESPUESTA EN FRECUENCIA EN EL PABELLÓN IZQUIERDO Y DERECHO

5.2.1 Auricular Gama Alta (Sony MDR-7506)

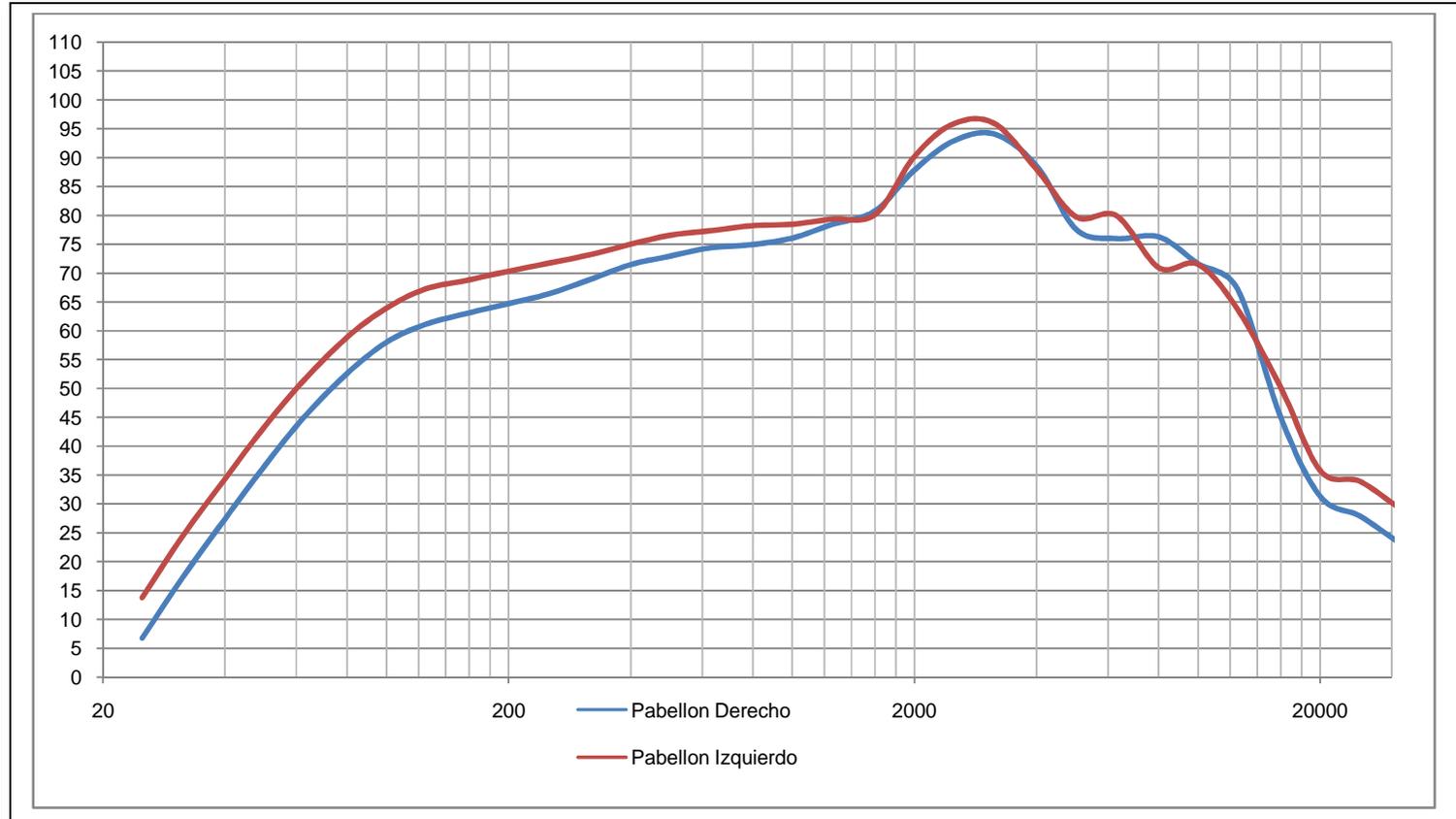
FREC	De	Iz
25	13,025	22,329
31,5	22,675	31,791
40	30,810	39,680
50	37,320	46,486
63	42,330	51,517
80	45,894	54,865
100	48,634	57,685
125	50,548	59,652
160	51,563	61,390
200	51,132	62,583
250	60,945	65,212
315	64,363	73,886
400	71,818	79,437
500	77,907	81,772
630	79,119	82,069
800	80,362	82,397
1000	81,836	84,273
1250	83,492	86,303
1600	86,704	89,700
2000	90,492	95,378
2500	95,886	103,597
3150	97,951	104,641
4000	89,657	93,779
5000	89,526	88,711
6300	83,257	85,848
8000	77,677	75,950
10000	78,545	73,484
12500	68,851	67,478
16000	47,158	46,993
20000	42,604	36,970



Gráfica 8: respuesta en frecuencia auricular Gama Alta.

5.2.2 Auricular Gama Media (Sony MDR-V300)

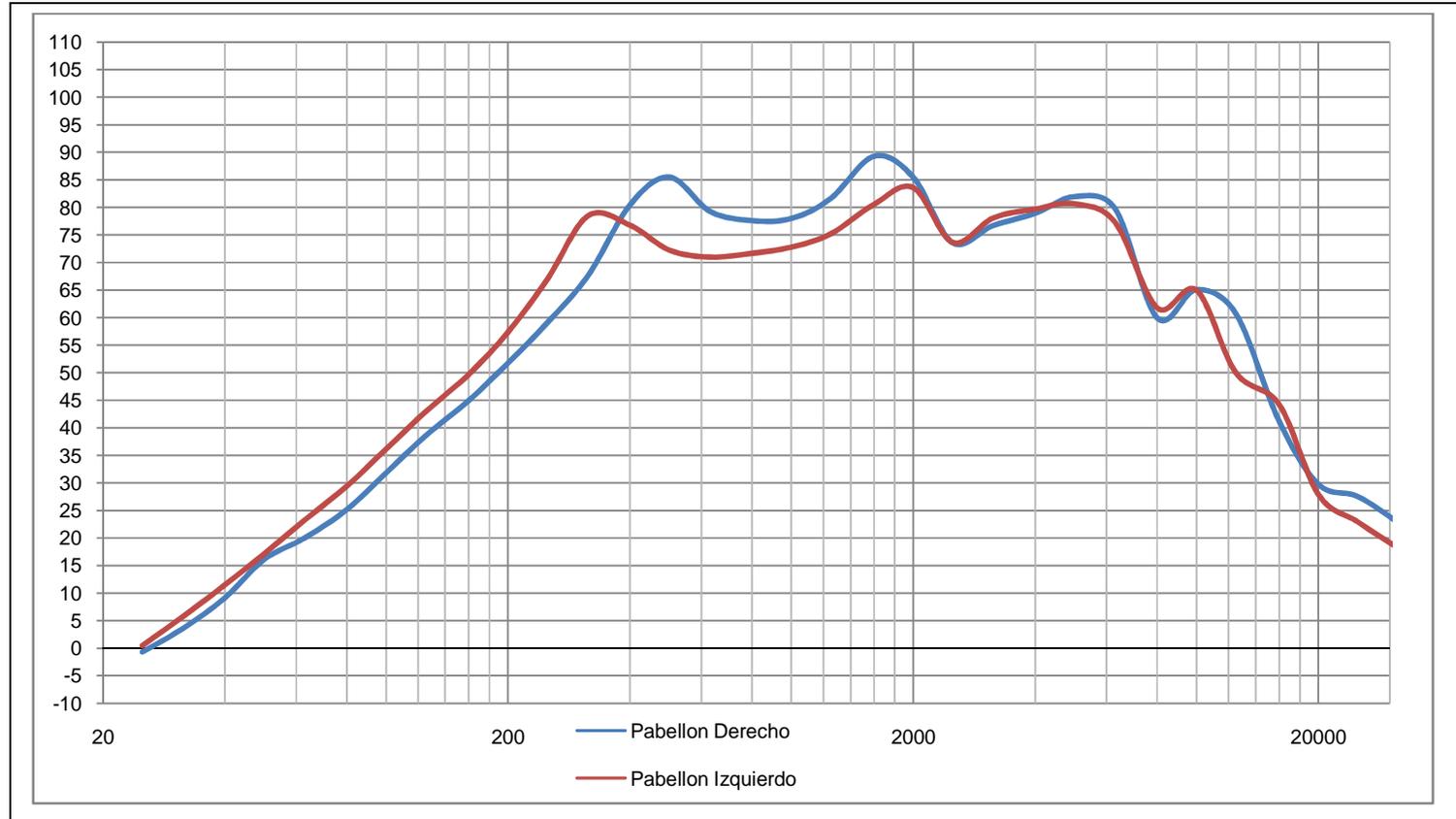
FREC	De	Iz
25	6,8	71,7
31,5	17,4	78,0
40	27,4	80,3
50	36,6	76,8
63	45,3	73,3
80	52,6	76,5
100	58,0	72,9
125	61,1	76,8
160	63,1	75,7
200	64,7	70,6
250	66,4	65,9
315	68,8	73,0
400	71,5	80,4
500	72,9	89,5
630	74,4	352,2
800	74,9	437,5
1000	76,1	538,0
1250	78,4	664,2
1600	80,8	840,4
2000	87,9	1043,9
2500	92,9	1296,5
3150	94,1	1622,0
4000	88,5	2044,3
5000	77,6	2538,8
6300	76,0	3188,0
8000	76,3	4038,1
10000	71,6	5035,8
12500	67,2	6283,6
16000	31,3	8015,6
20000	31,2	35,7



Gráfica 9: respuesta en frecuencia auricular Gama Media.

5.2.3 Auricular Gama Económica

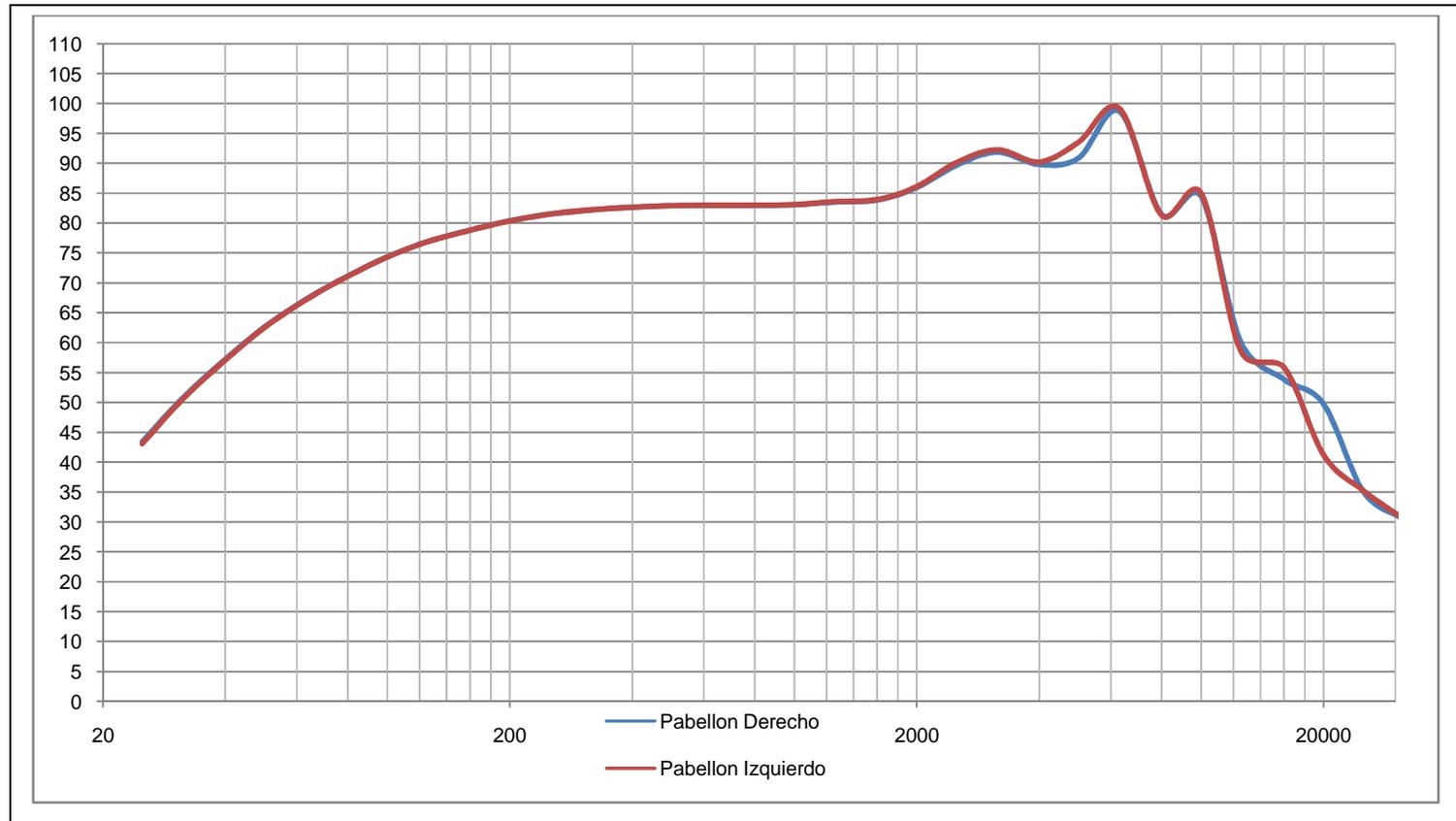
FREC	De	Iz
25	-0,7	0,5
31,5	3,6	5,8
40	9,1	11,5
50	16,1	17,2
63	20,0	23,3
80	25,2	29,4
100	31,8	36,1
125	38,5	42,9
160	45,0	49,7
200	51,8	57,4
250	59,1	67,0
315	67,6	78,5
400	80,5	76,7
500	85,5	72,2
630	79,3	71,0
800	77,6	71,6
1000	78,0	72,8
1250	81,6	75,2
1600	89,3	80,5
2000	85,4	83,5
2500	73,6	73,6
3150	76,7	78,1
4000	78,9	79,7
5000	82,0	80,6
6300	79,7	77,2
8000	59,9	61,7
10000	65,1	64,9
12500	60,7	50,0
16000	41,1	44,2
20000	29,7	27,9



Gráfica 10: respuesta en frecuencia auricular Gama Económica.

5.2.4 Auricular Genéricos (Creative Labs EP-630)

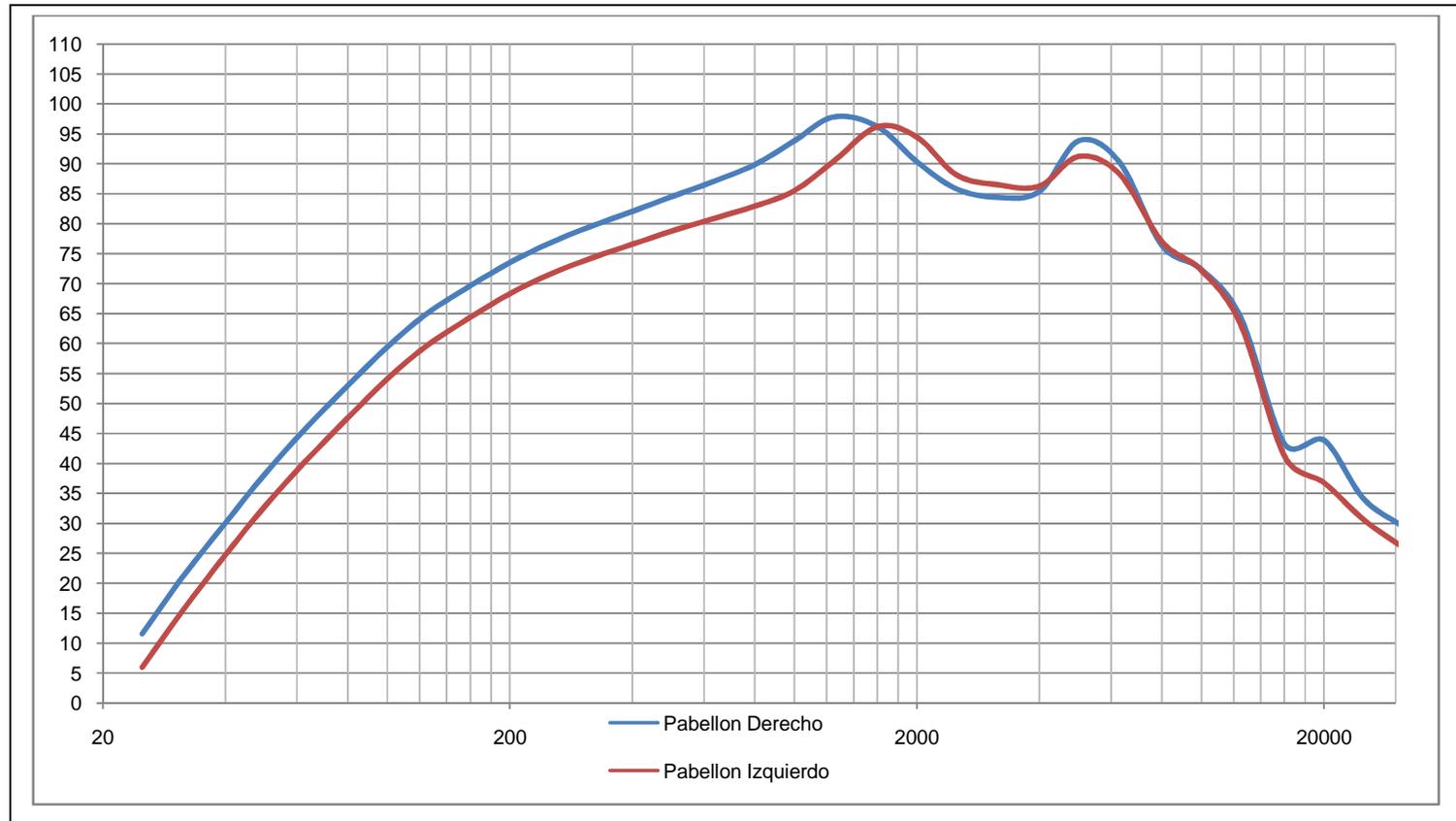
FREC	De	Iz
25	43,4	43,1
31,5	50,8	50,6
40	57,2	57,1
50	62,7	62,5
63	67,2	67,1
80	71,2	71,1
100	74,4	74,3
125	76,9	76,8
160	78,9	78,8
200	80,4	80,4
250	81,5	81,5
315	82,2	82,2
400	82,7	82,7
500	82,9	82,9
630	83,0	83,0
800	83,0	83,0
1000	83,1	83,1
1250	83,5	83,6
1600	83,9	83,9
2000	86,0	86,1
2500	89,7	90,1
3150	91,9	92,3
4000	89,8	90,2
5000	90,9	93,6
6300	98,7	99,2
8000	81,4	81,3
10000	84,4	85,0
12500	60,2	58,6
16000	53,8	55,8
20000	49,7	41,2



Gráfica 11: respuesta en frecuencia auricular Genérico.

5.2.5 Auricular Sony De Fábrica (Dispositivo AW-1200)

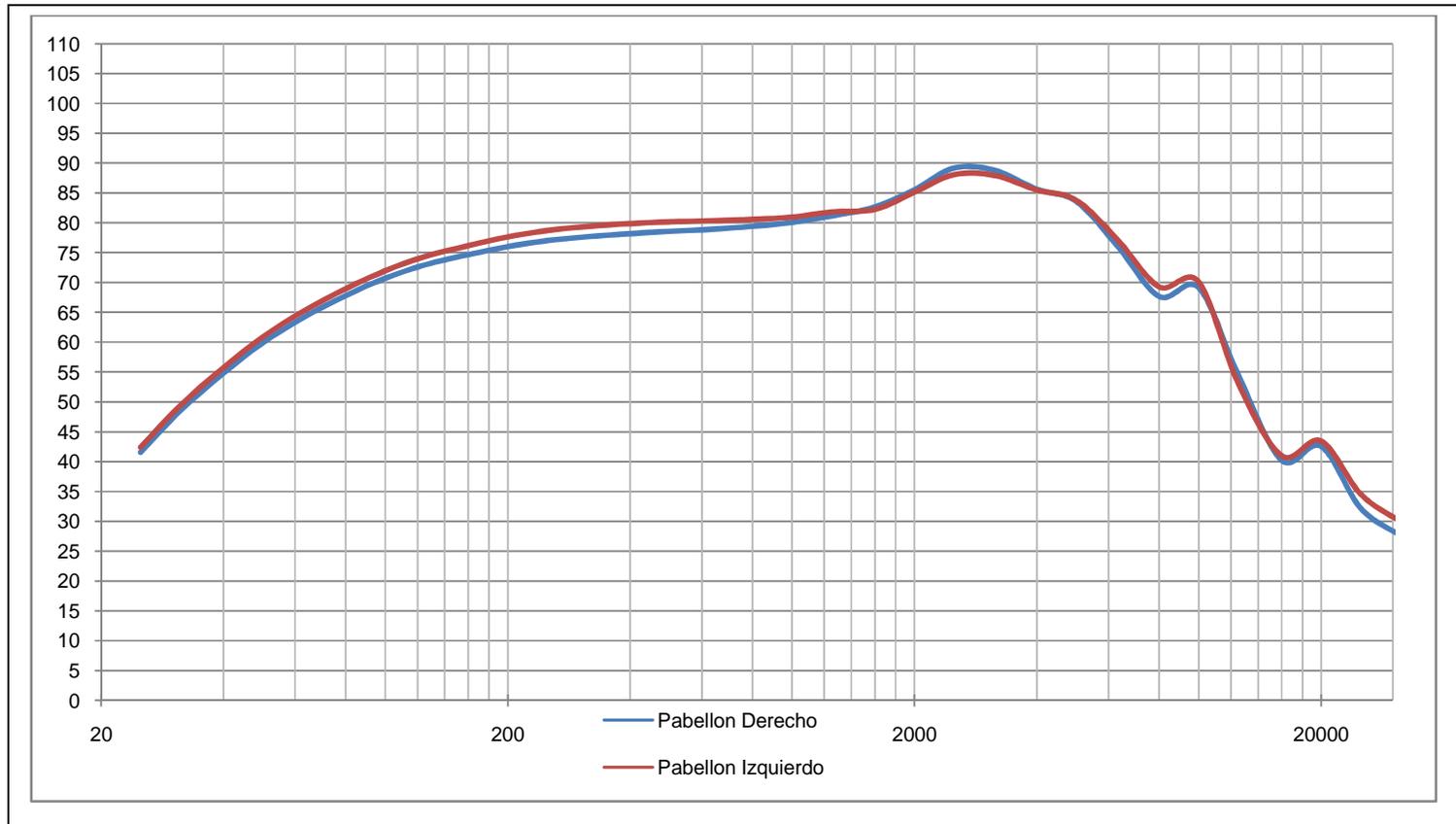
FREC	De	Iz
25	11,6	6,0
31,5	21,1	15,5
40	30,0	24,7
50	38,2	32,8
63	45,8	40,4
80	53,0	47,6
100	59,4	54,1
125	65,0	59,6
160	69,6	64,4
200	73,5	68,3
250	76,7	71,5
315	79,5	74,2
400	82,1	76,6
500	84,5	78,8
630	87,0	80,8
800	89,9	82,9
1000	93,8	85,5
1250	97,8	90,4
1600	96,2	96,2
2000	90,4	94,4
2500	85,8	88,2
3150	84,4	86,5
4000	85,4	86,3
5000	93,9	91,2
6300	90,2	88,2
8000	76,4	77,0
10000	72,4	72,2
12500	64,3	63,1
16000	43,3	41,2
20000	43,9	36,8



Gráfica 12: respuesta en frecuencia auricular Sony® de Fábrica.

5.2.6 Auricular Sony Ericsson (Dispositivo Celular)

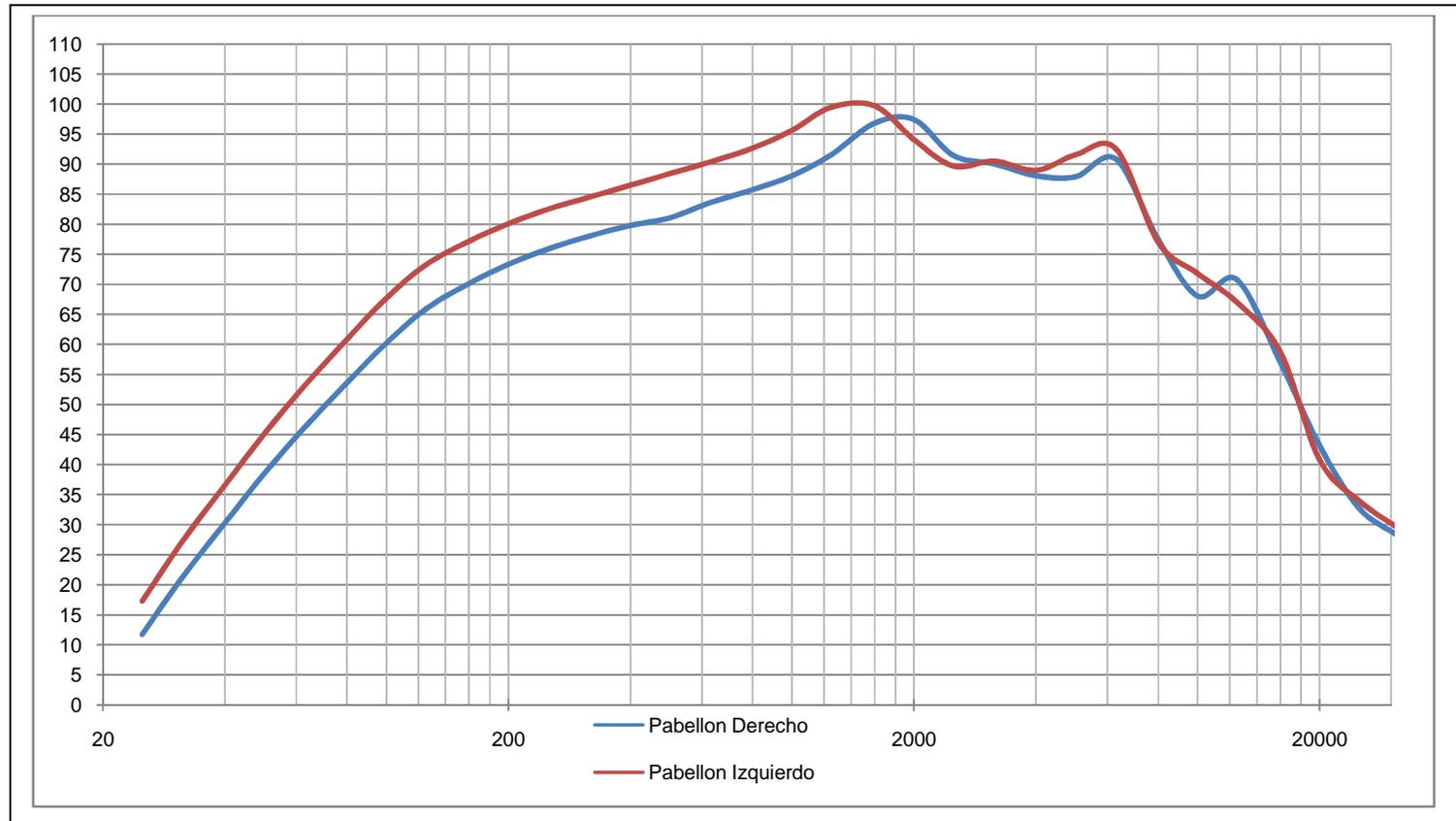
FREC	De	Iz
25	41,6	42,4
31,5	48,7	49,6
40	54,8	55,7
50	59,9	60,9
63	64,2	65,2
80	67,8	69,0
100	70,7	72,0
125	72,9	74,3
160	74,7	76,2
200	76,0	77,6
250	77,0	78,7
315	77,7	79,4
400	78,2	79,9
500	78,6	80,2
630	78,9	80,4
800	79,4	80,6
1000	80,1	81,0
1250	81,1	81,8
1600	82,7	82,3
2000	85,5	85,1
2500	89,2	88,1
3150	88,8	87,9
4000	85,6	85,5
5000	83,6	83,8
6300	76,2	77,3
8000	67,7	69,3
10000	69,1	70,1
12500	54,6	53,2
16000	40,2	41,0
20000	42,6	43,5



Gráfica 13: respuesta en frecuencia auricular Sony Ericsson.

5.2.7 Auricular Ipod Fábrica (Dispositivo Ipod Nano)

FREC	De	Iz
25	11,8	17,3
31,5	21,4	27,4
40	30,3	36,6
50	38,5	45,1
63	46,3	53,2
80	53,7	60,9
100	60,2	67,7
125	65,9	73,2
160	70,2	77,2
200	73,3	80,1
250	75,9	82,5
315	78,0	84,5
400	79,8	86,5
500	81,1	88,4
630	83,6	90,4
800	85,8	92,7
1000	88,1	95,6
1250	91,6	99,5
1600	96,8	99,7
2000	97,4	94,1
2500	91,5	89,7
3150	90,1	90,5
4000	88,1	89,0
5000	87,9	91,6
6300	90,8	92,5
8000	77,5	77,0
10000	68,1	71,8
12500	70,8	67,0
16000	57,1	58,8
20000	43,2	40,8



Gráfica 14: respuesta en frecuencia auricular Ipod Fábrica.



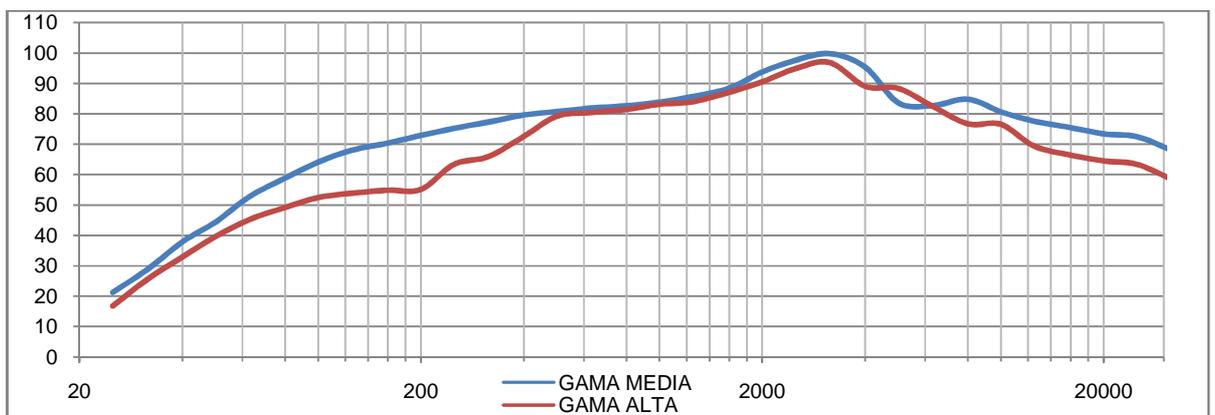
Figura 31: Esquema de medición de nivel del auricular en el emulador.

5.3 NIVEL MEDIDO POR CADA AURICULAR Y REPRODUCTOR

5.3.1 Macintosh IPOD NANO (Tercera Generación)

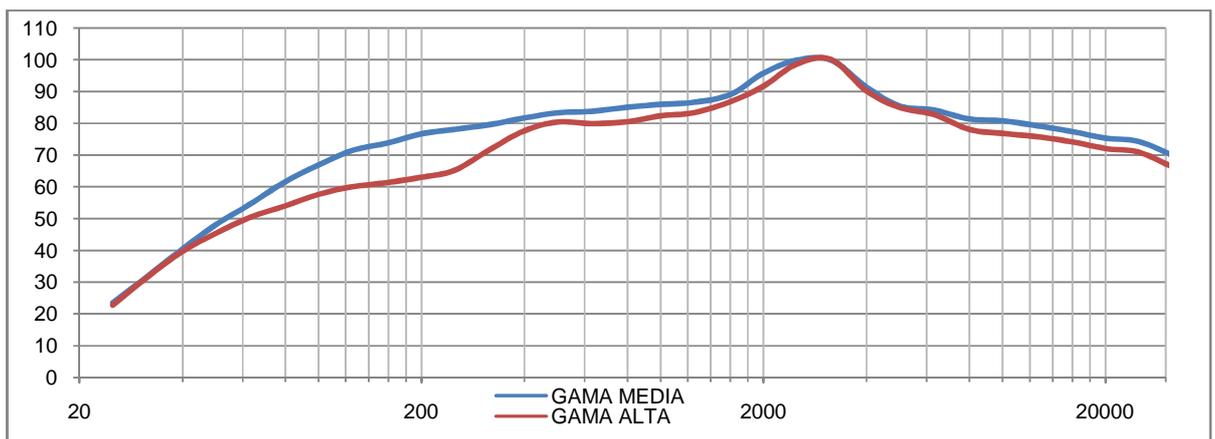
5.3.1.1 Circumaurales (Máximo Nivel del Reproductor)

Pabellón derecho



Gráfica 15: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

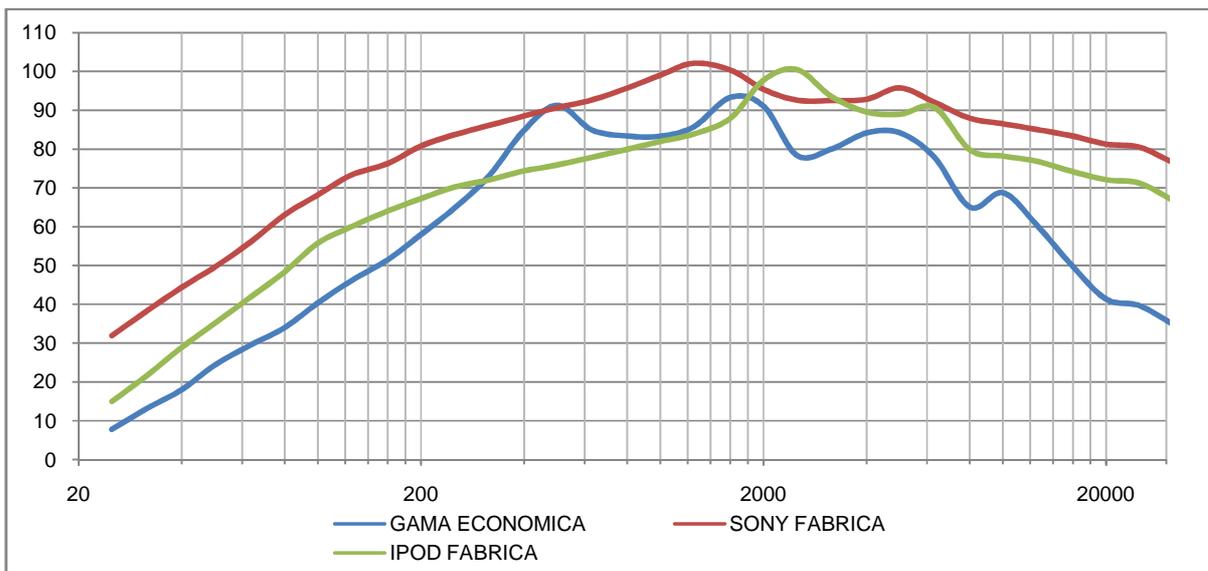


Gráfica 16 comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Se puede apreciar una respuesta muy común en ambos pabellones, revelando el pico de sintonización del oído artificial el cual está en 3150 Hz, para ambos auriculares el pico es el mismo, esto es gracias al diseño Circumaural, por otro lado la diferencias de respuesta en bajos, hacen parte de la calidad y el diseño del transductor. Examinando los niveles pico de la medición, se nota que para los dos auriculares, se tienen proporciones de más de 100 dB SPL, esto traduce, que el daño a largo plazo, si se escucha en estos niveles, se encuentran en la frecuencia de resonancia del oído humano; la forma de escuchar el individuo a las demás personas sería de una forma indeficiente, ya que la naturaleza del tubo es para acentuar las frecuencias fundamentales de la voz.

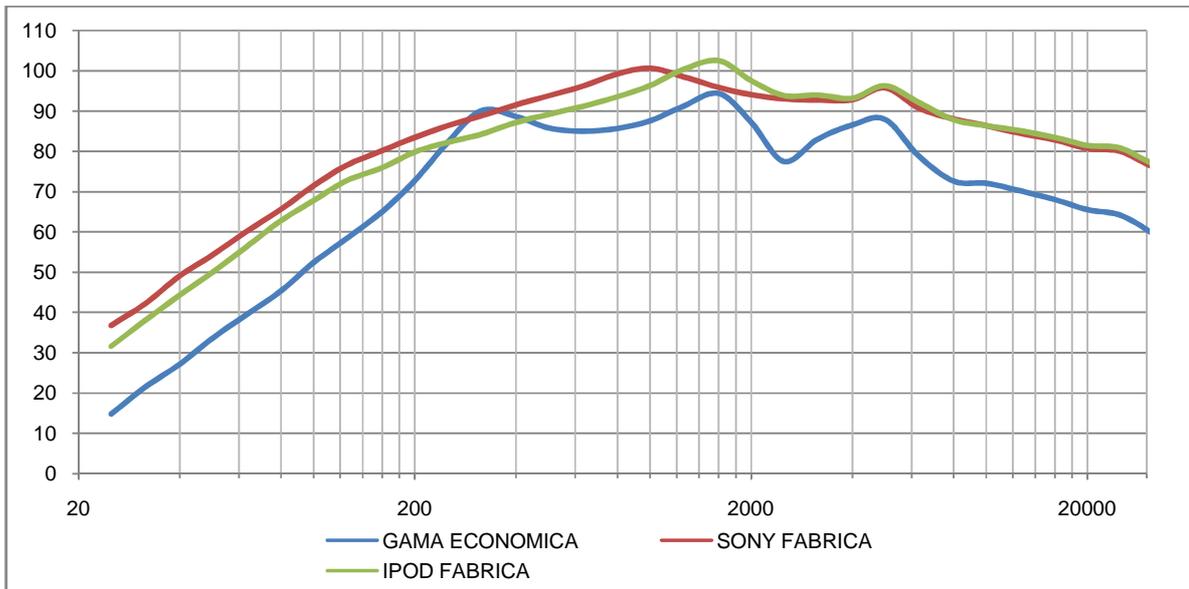
5.3.1.2 Ear-Bud (Máximo Nivel del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 17: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

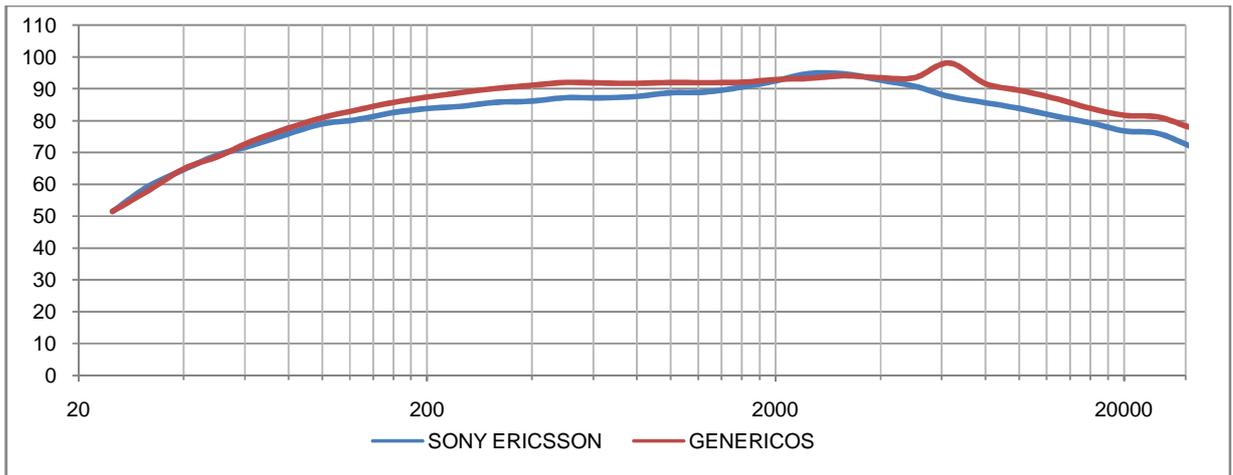


Gráfica 18: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Para este tipo de auriculares la mayoría de la información espectral se encuentra básicamente en un ancho de banda de 250 Hz – 4000 Hz, fluctúa en picos resonantes, llegando a máximos niveles de 90 a 100 dB SPL, en muchos de los casos el pico de resonancia del oído se pierde ya que el auricular obstaculiza la entrada del tubo sintonizado, sin embargo se generan picos resultantes de la resonancia del transductor, tomando como una muestra variante, el auricular de gama económica resuena en tres picos, los cuales pueden afectar la audición del oyente.

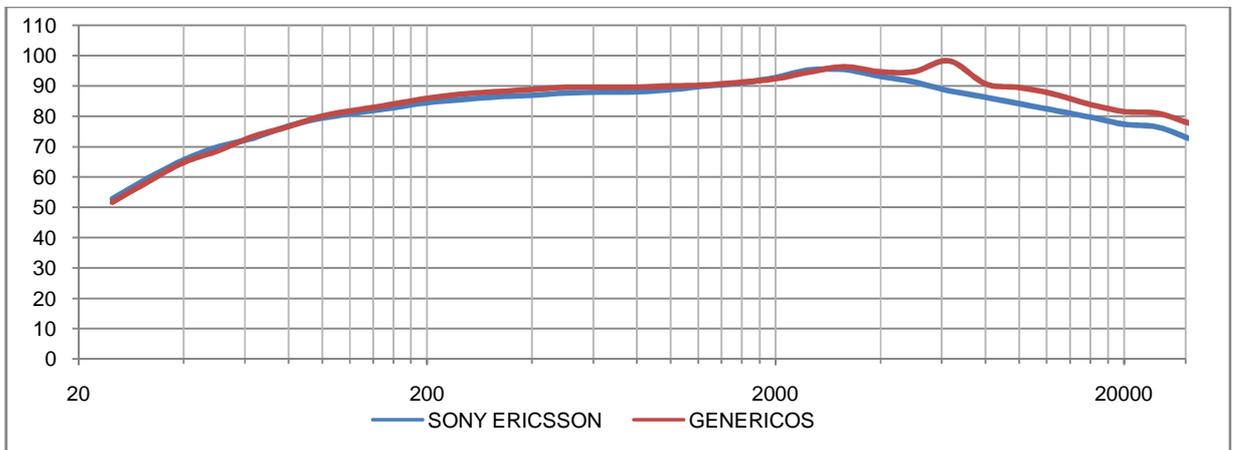
5.3.1.3 In-ear (Máximo nivel del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 19: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo



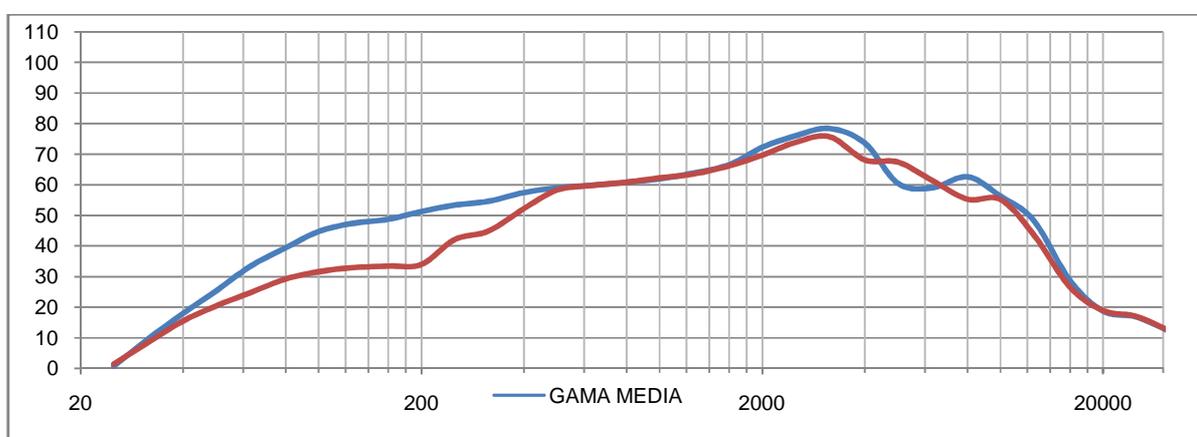
Gráfica 20: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

La apreciación de esta grafica retoma conceptos psicoacústicos de aislamiento, es decir que cuando se obstaculiza el canal auditivo con algún objeto elástico, la transmisión del sonido se hace por elementos sólidos, en este caso el cráneo del individuo hace las veces de transductor, por ende las frecuencias bajas de este

tipo de auricular tienen una forma lineal y contrastante, tomando como ejemplo el auricular genérico, el pico de resonancia del oído se desplaza en frecuencia, ya que el tubo sintonizado se recorta, produciendo una sensación estridente para el oyente. En cuanto al nivel, el promedio de máxima información, oscila entre 90 y 100 dB.

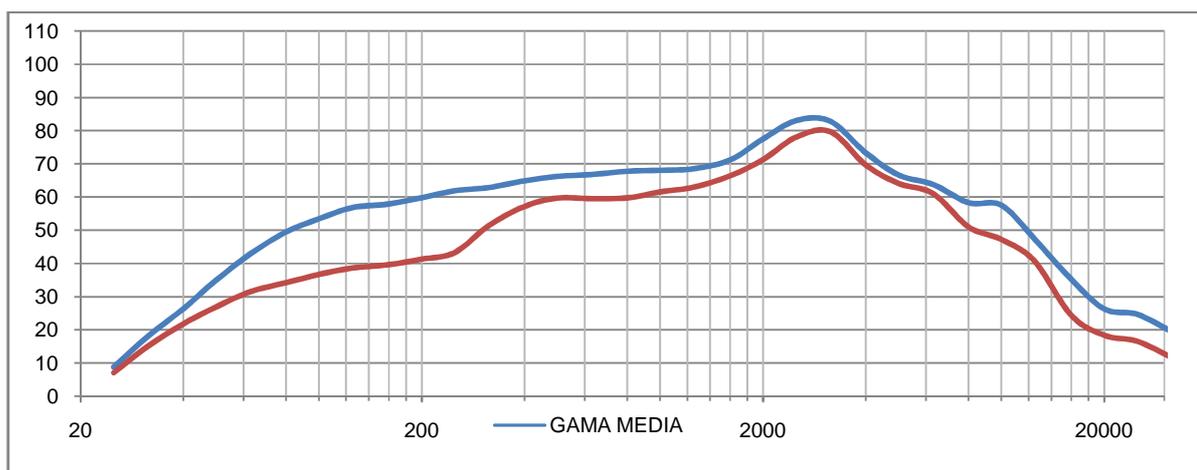
5.3.1.4 Circumaural (Nivel 60%)

Pabellón Derecho



Gráfica 21: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

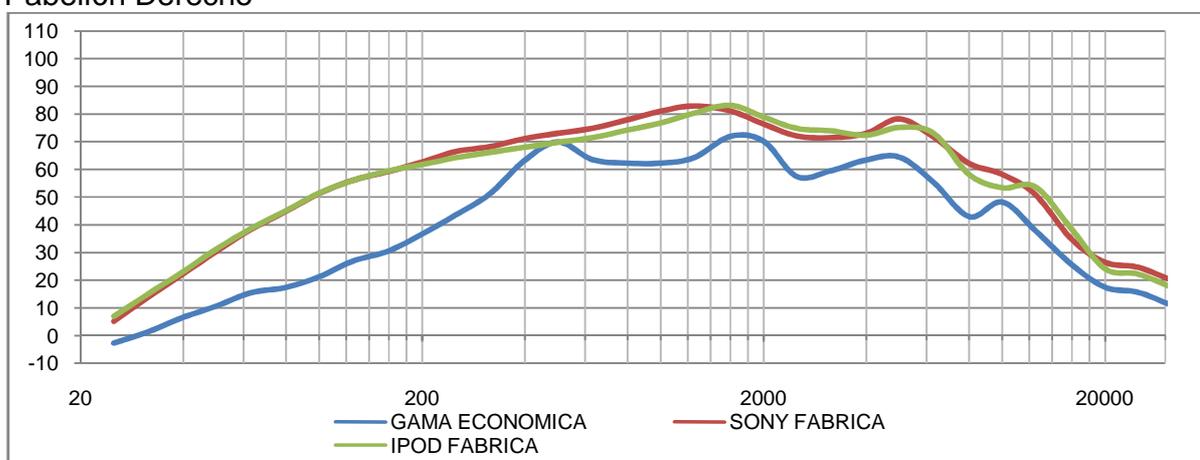


Gráfica 22: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Para este tipo de auricular, la forma y distribución de la información espectral es muy parecida, es decir que por la calidad del transductor, el auricular no pierde la respuesta en frecuencia a pesar de la diferencia de niveles, sin embargo, con el 60% de la capacidad total del reproductor, los niveles pico oscilan entre 75 y 80 dB, esto sigue siendo demasiado fuerte para un uso cotidiano.

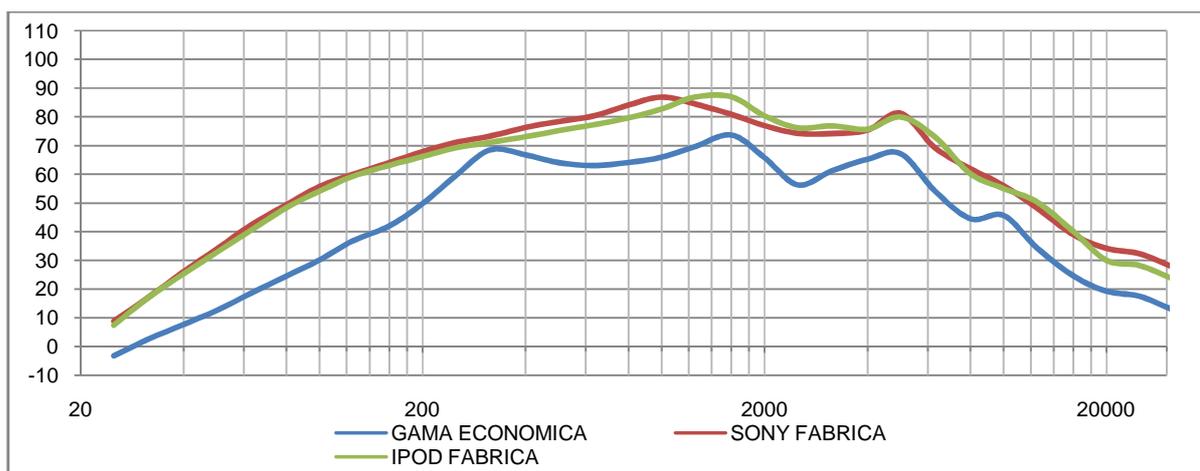
5.3.1.5 Ear-Bud (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 23: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

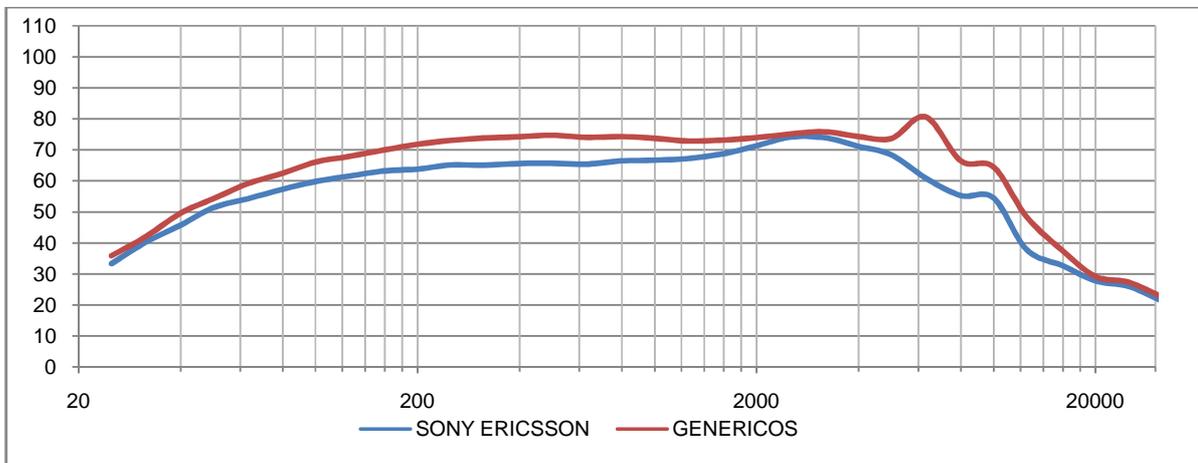


Gráfica 24: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Para este tipo de auriculares la linealidad se pierde, y ya se puede ver en funcionamiento la calidad de los transductores, revelando cuales poseen una linealidad en frecuencias bajas, sin embargo los picos resonantes se comportan de una manera parecida, los picos nivel oscilan entre 70 y 80 dB SPL, que para un dispositivo tan pequeño es fuerte en comparación con transductores de alta calidad.

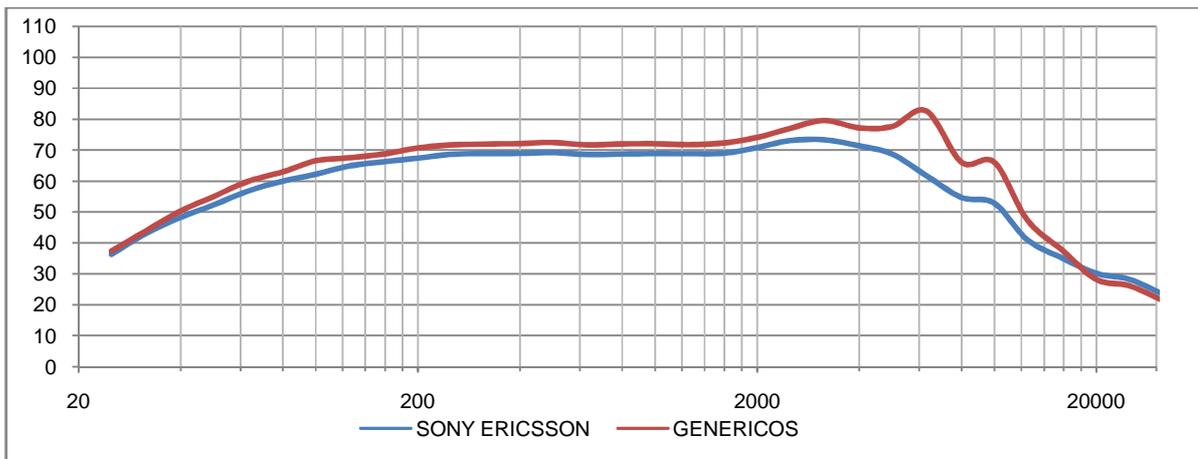
5.3.1.6 In-Ear (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 25: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

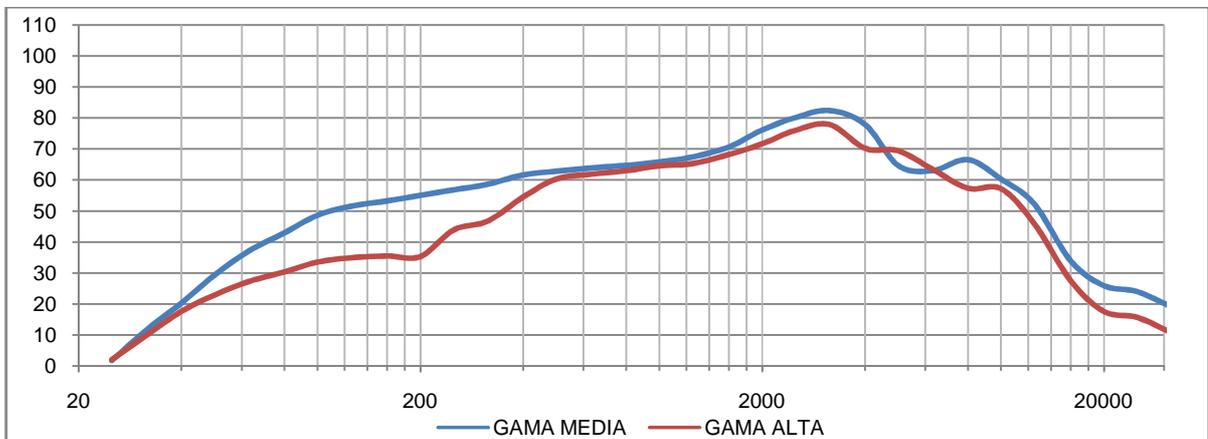


Gráfica 26: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

En esta fase de medición, se puede apreciar mejor el desplazamiento del pico resonante del oído, las frecuencias bajas siguen con la misma linealidad, sin embargo el nivel de los picos oscilan entre 80 y 85 dB SPL.

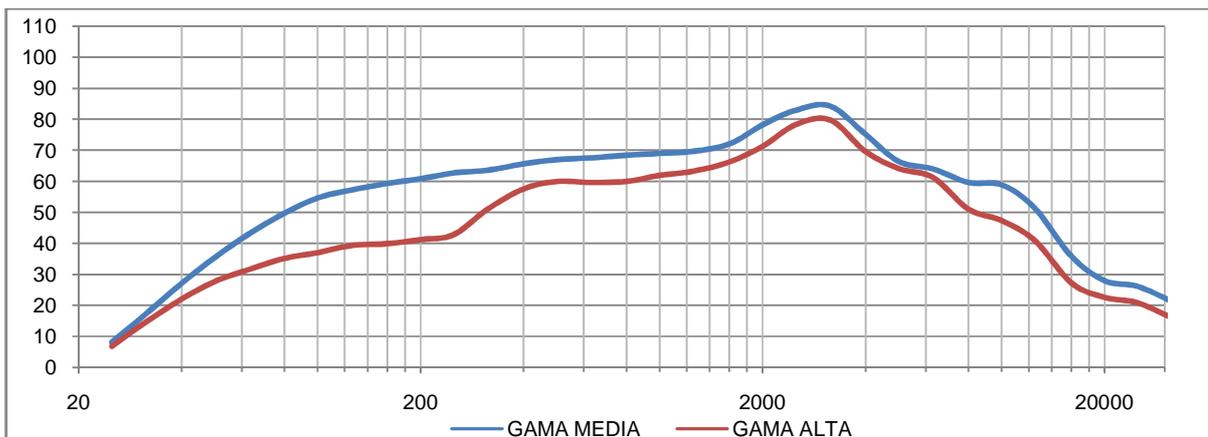
5.3.1.7 Circumaural (Nivel Limitador)

Pabellón Derecho



Gráfica 27: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

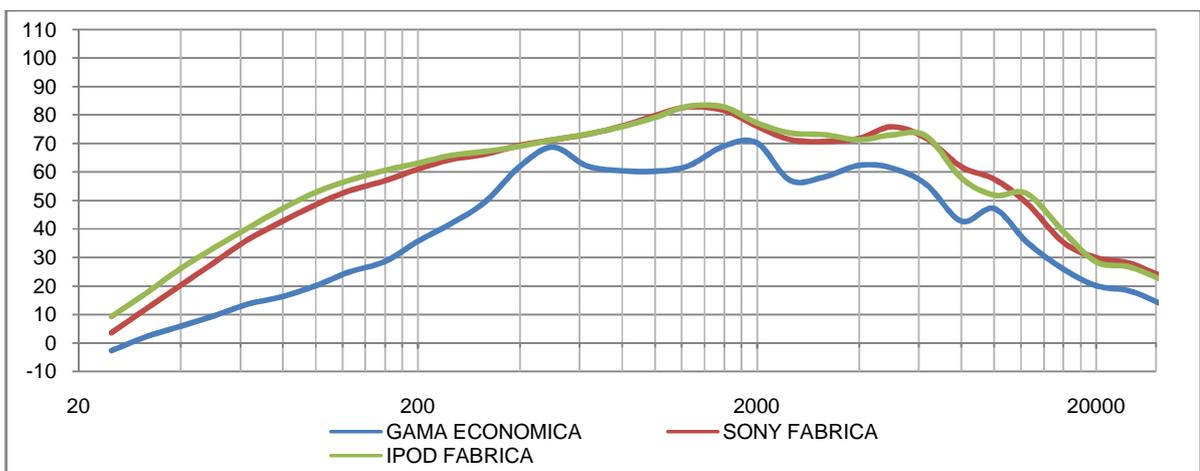


Gráfica 28: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Las variaciones de nivel respecto al 60% son muy pocas, a pesar del limitador, sin embargo en este dispositivo de audio portátil el limitador es dinámico, haciéndolo inútil, ya que la persona puede limitar el dispositivo llegando a niveles más altos y a variaciones pequeñas respecto al máximo nivel del dispositivo.

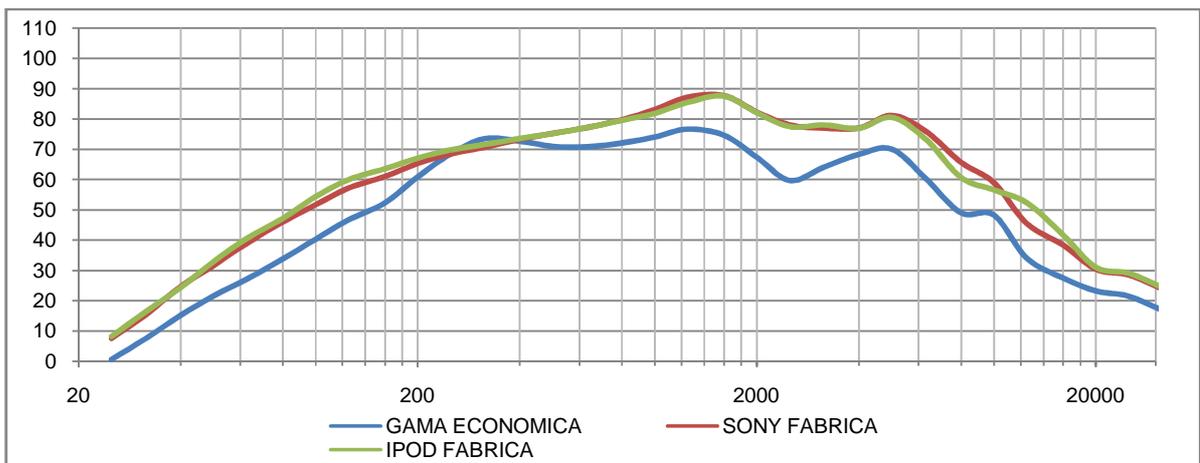
5.3.1.8 Ear-Bud (Nivel Limitador)

Pabellón Derecho



Gráfica 29: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

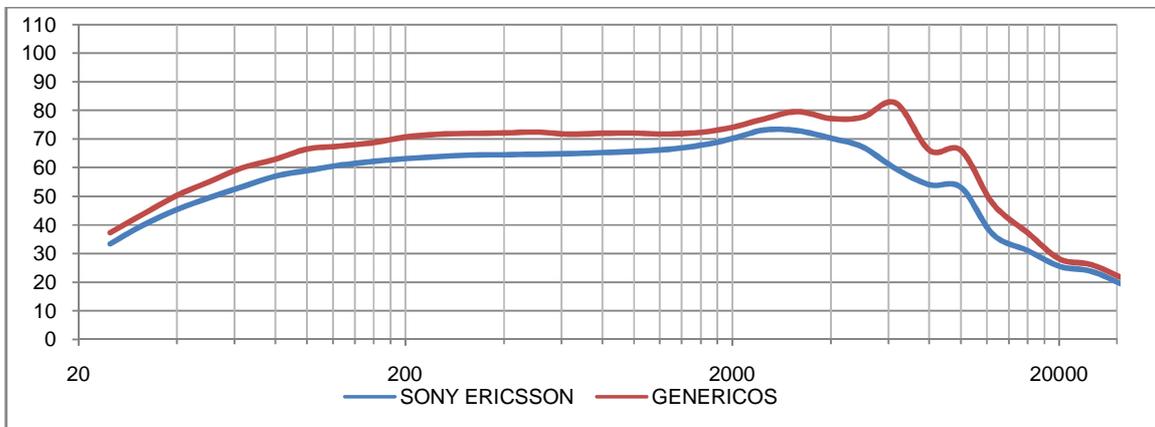


Gráfica 30: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

En este nivel se puede apreciar una similitud entre los auriculares del Ipod y los del Sony, resonando en la misma frecuencia, los niveles oscilan entre los 80 y 85 dB SPL, sin embargo los auriculares de gama económica tienen una disminución notable en su nivel, esto se debe al comportamiento de impedancia y de sensibilidad del transductor.

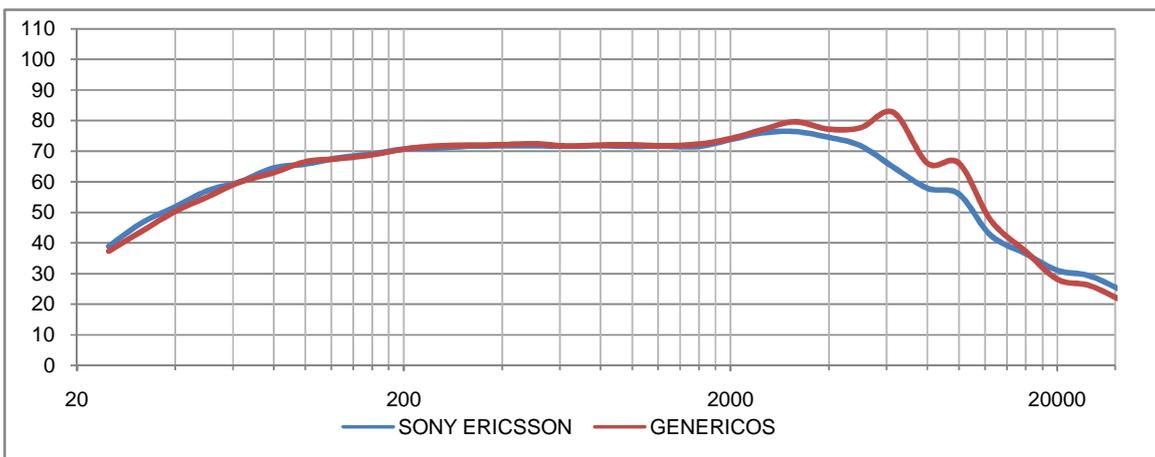
5.3.1.9 In-Ear (Nivel Limitador)

Pabellón Derecho



Gráfica 31: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

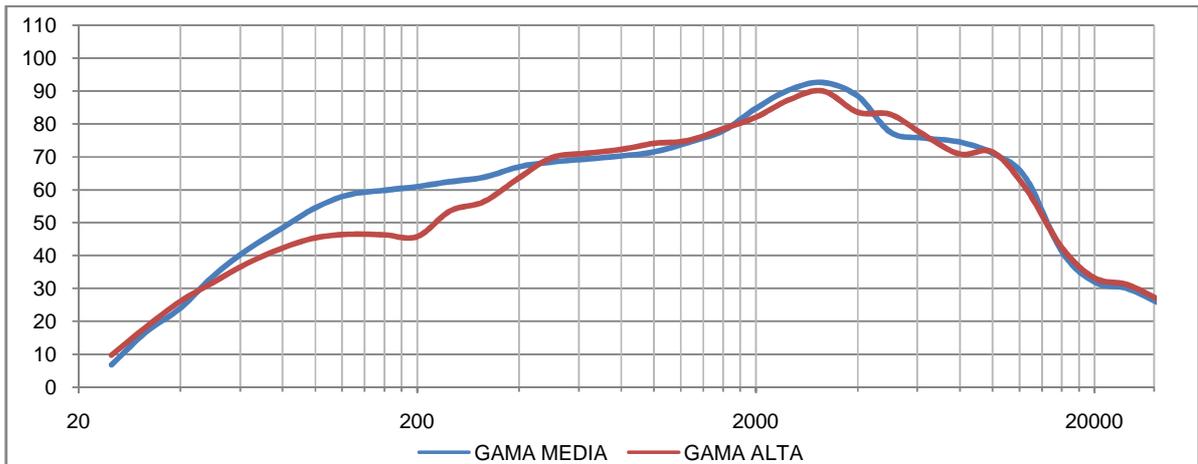


Gráfica 32: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

5.3.2 SONY NW-A1200 (WALKMAN MP3 Segunda Generación)

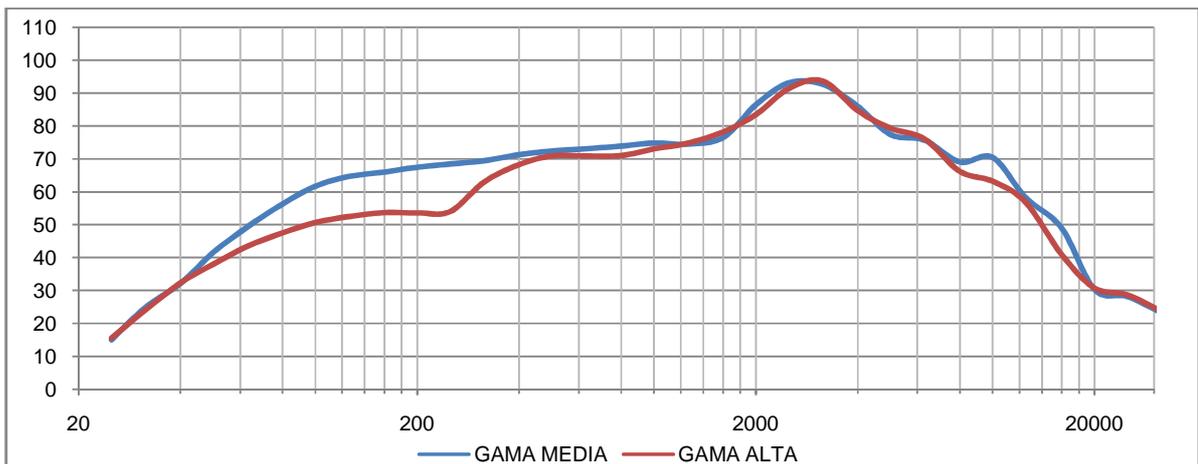
5.3.2.1 Circumaural (Máximo nivel del Reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 33: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo



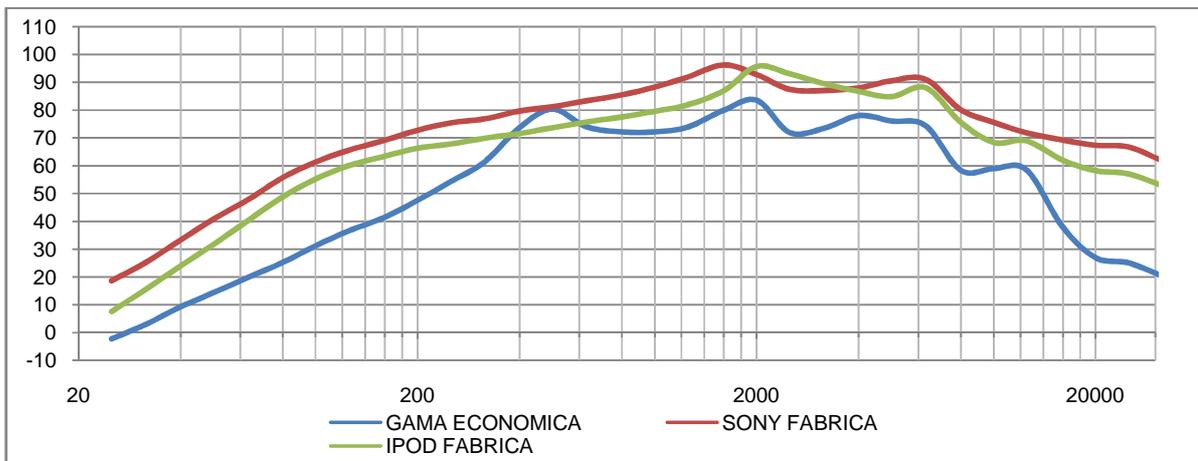
Gráfica 34: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Con estos tipos de auriculares y la combinación del reproductor NW-A1200 de Sony, se muestra que el nivel máximo en comparación con el IPOD es menor, la

respuesta tiene un comportamiento parecido, en cuanto a los picos resonantes, el comportamiento es el mismo, a pesar de que el nivel baja en 5dB SPL, para el oído humano sigue siendo fuerte, de acuerdo con los umbrales ya estipulados.

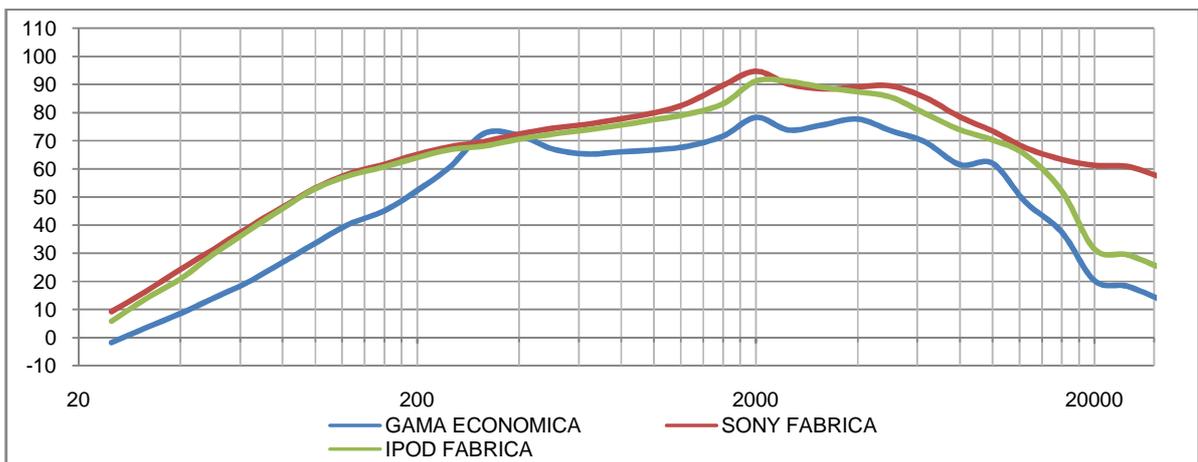
5.3.2.2 Ear-Bud (Nivel Máximo del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 35: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

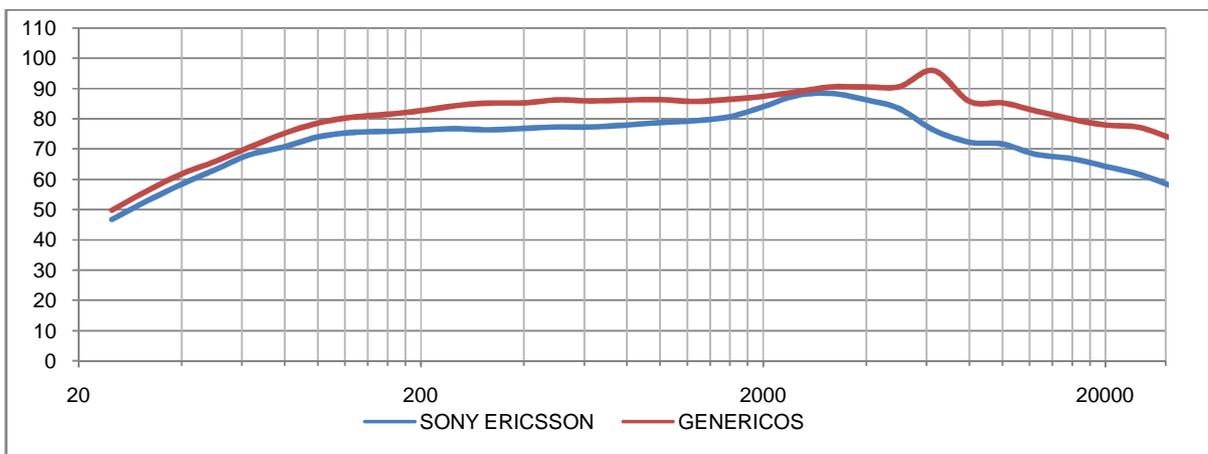


Gráfica 36: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Revisando las gráficas, el resultado de las combinaciones de Ear-Bud es muy similar para los auriculares Sony de fabrica y Ipod de fabrica, por otro lado los gama económica poseen una disminución, esto puede pasar por consideraciones ya descritas anteriormente.

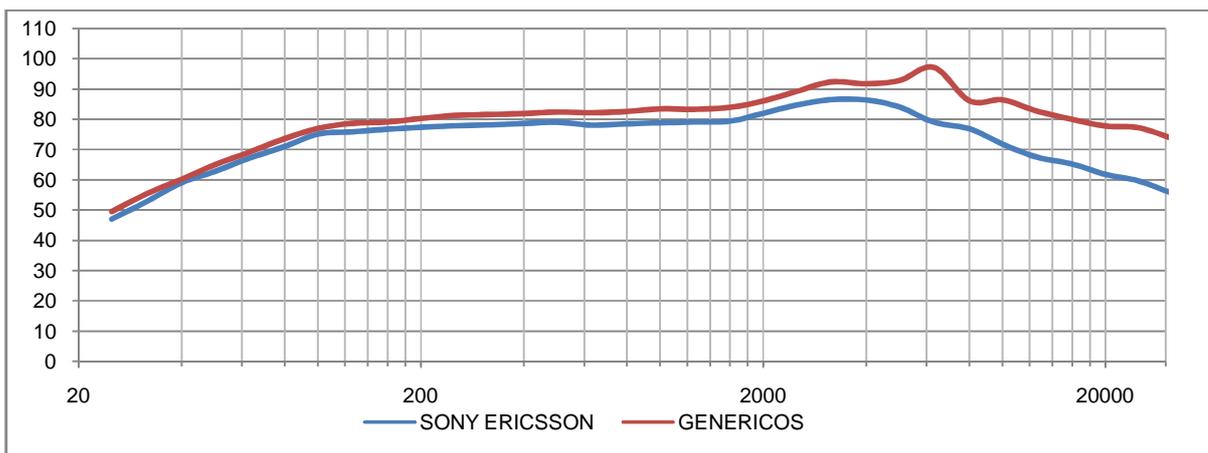
5.3.2.3 In-Ear (Máximo Nivel del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 37: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

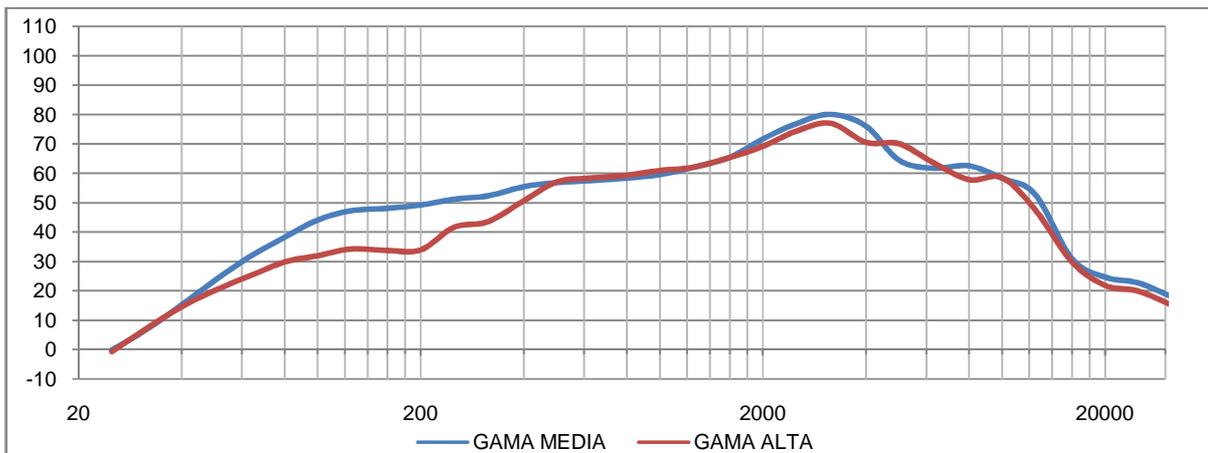


Gráfica 38: comportamiento con máximo del nivel del reproductor

Existe un comportamiento lineal entre las frecuencias bajas, el pico de resonancia y su desplazamiento se ven claramente, el nivel oscila entre los 85 y 90 dB SPL, esto puede considerarse dañino a largo plazo para el oído humano.

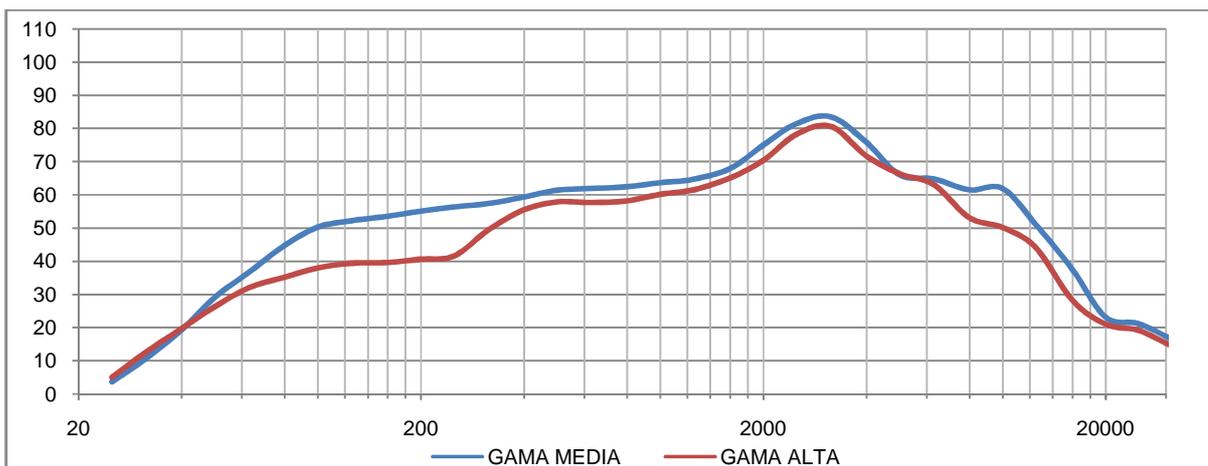
5.3.2.4 Circumaural (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 39: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

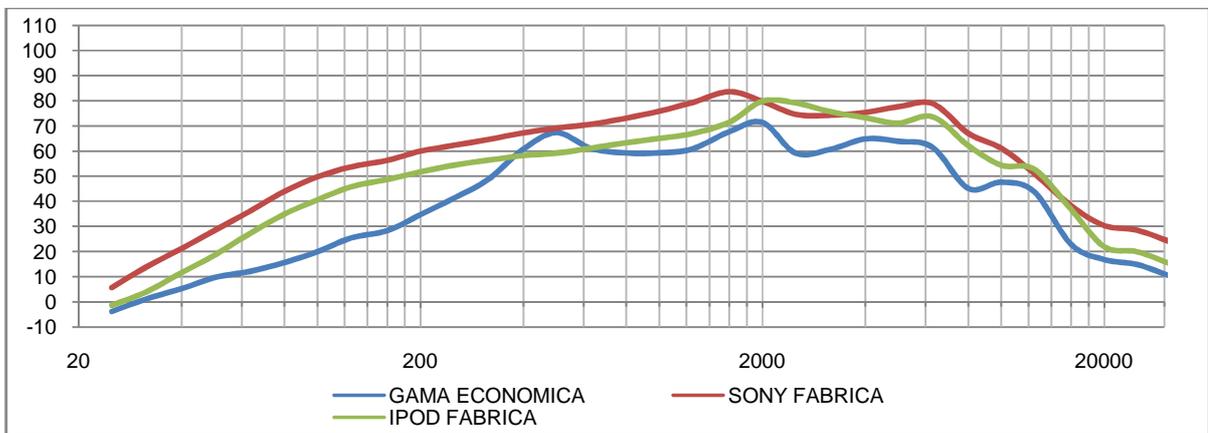


Gráfica 40: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

A pesar de que el nivel bajo considerablemente desde el Ipod hasta el NW-A1200, se considera que este tipo de nivel se debe manejar con precaución, los niveles permisibles para el oído humano según la OMG (Organización Mundial de la Salud), son destinados para recintos, ambientes de trabajo y ciudades, pero en este caso hay que considerar que la fuente es directa al canal auditivo, el nivel pico en esta fase de medición oscila entre 75 y 80 dB SPL, esto es considerablemente ruidoso para el ser humano.

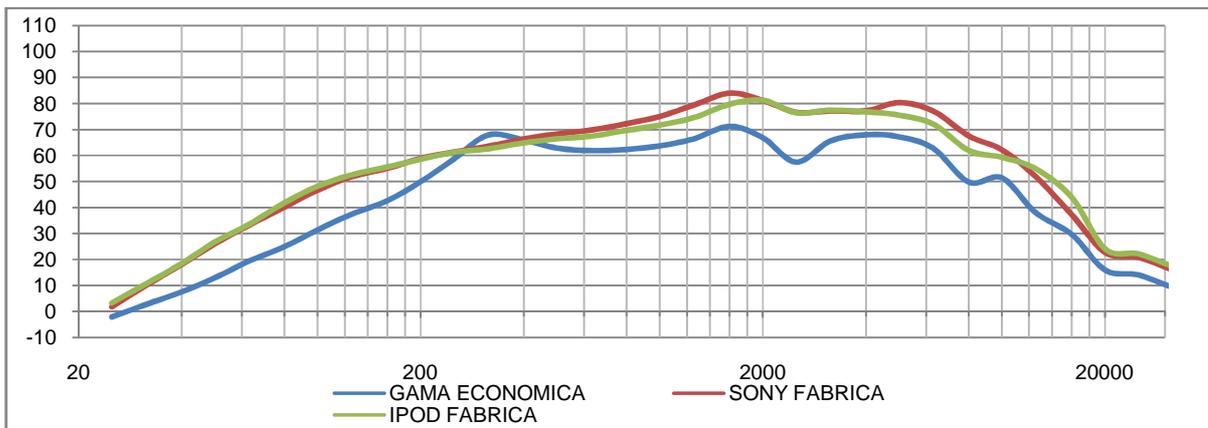
5.3.2.5 Ear-Bud (Nivel 60%)

Pabellón Derecho



Gráfica 41: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

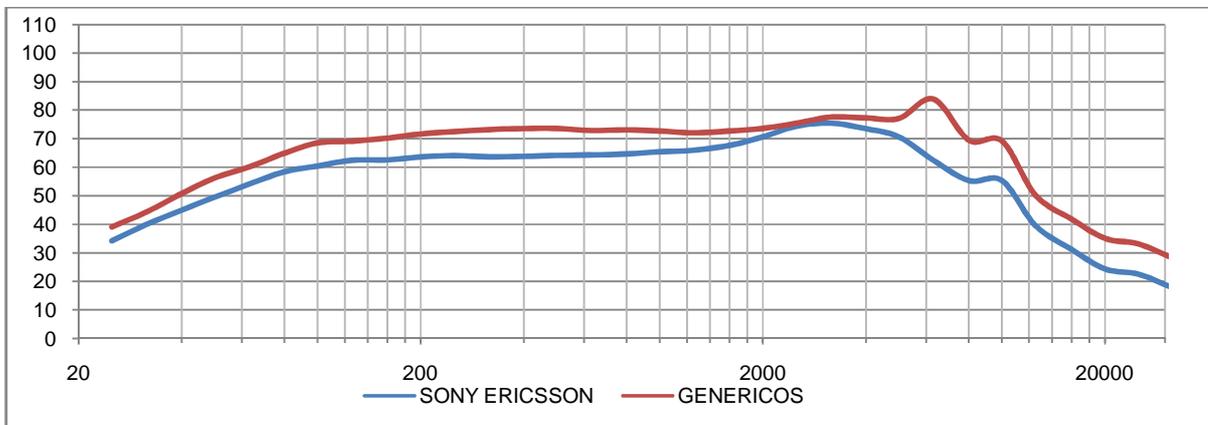


Gráfica 42: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

La consideración para el nivel pico entre estos auriculares es alta, como se puede ver así se cambie de calidad, de diseño o de forma, va existir un valor cercano entre auriculares, esto sucede, cuando se está hablando de auriculares que fueron fabricados para reproductores de audio, no los que son considerados económicos, los cuales prácticamente son desechables. El nivel en esta fase oscila entre 75 y 80 dB SPL.

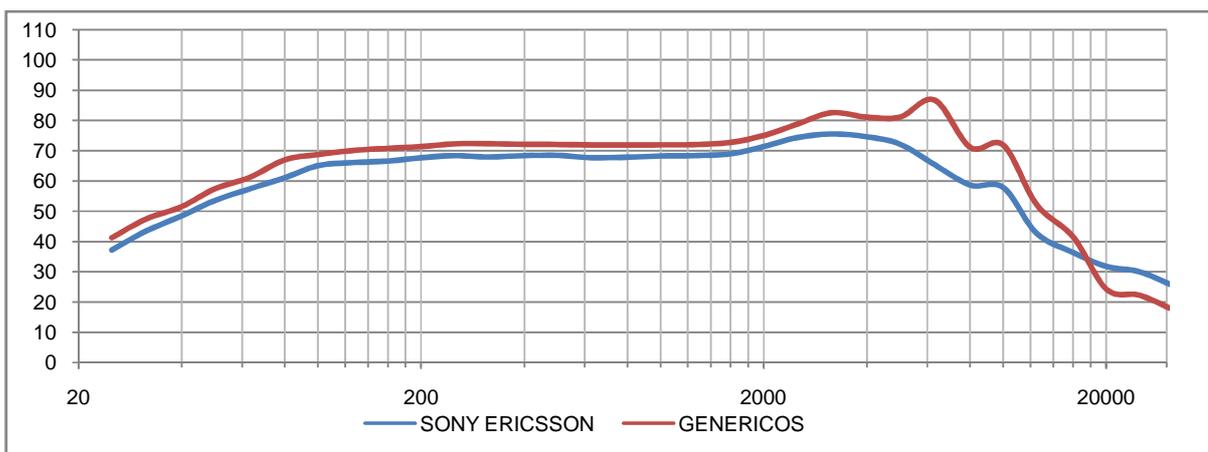
5.3.2.6 In-Ear (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 43: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

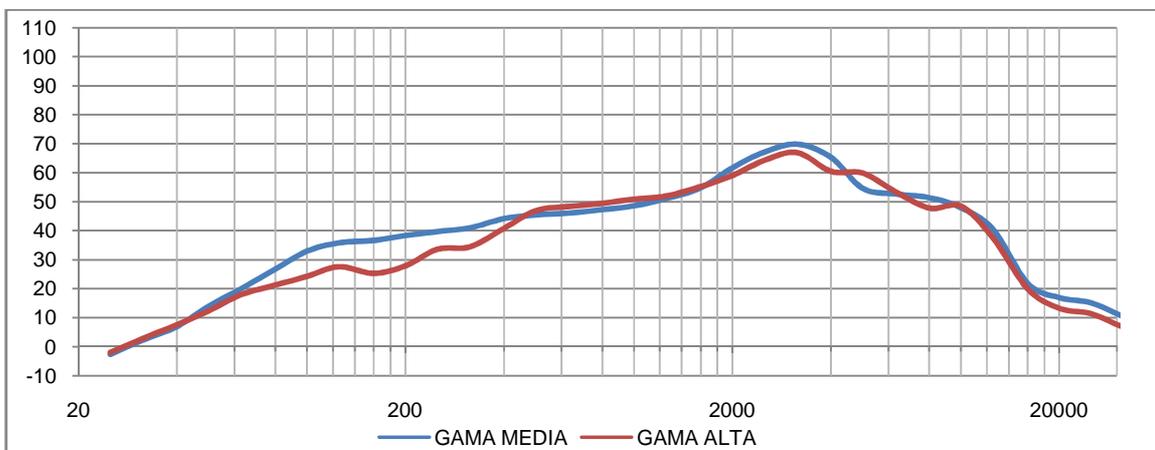


Gráfica 44: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

En esta fase se puede apreciar variaciones en frecuencias alta, relativamente más que con el Ipod, de todos modos existen complicaciones en el pico resonante, a pesar del nivel del 60% los picos llegan hasta más de 85 dB SPL.

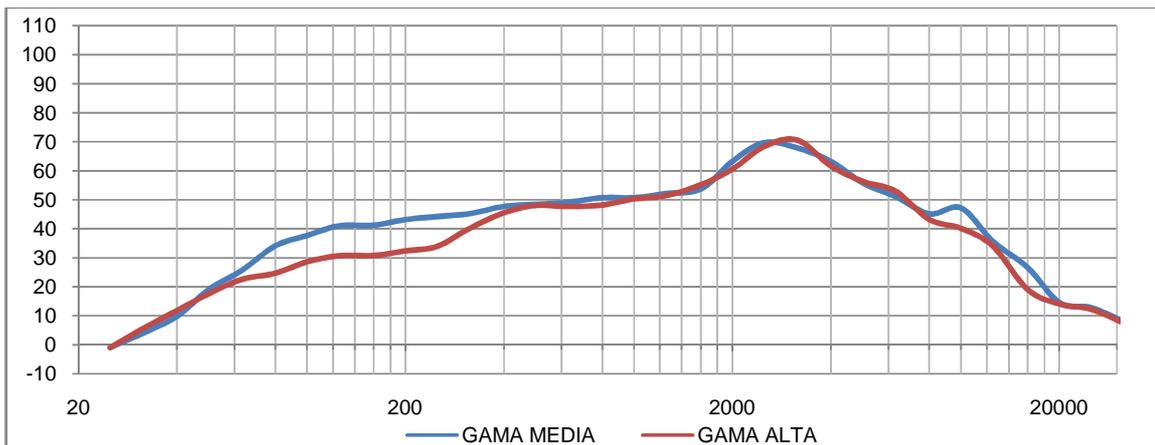
5.3.2.7 Circumaural (Nivel Limitador AVLS)

Pabellón Derecho



Gráfica 45: comportamiento con AVLS del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

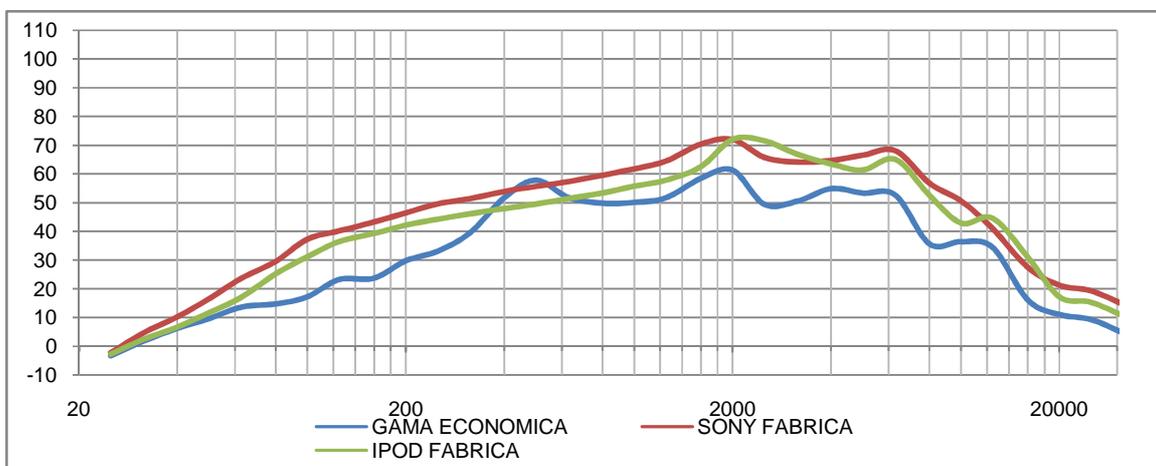


Gráfica 46: comportamiento con 60% del nivel del reproductor

El sistema AVLS fue promovido e inventado por Sony, se basa simplemente en un interruptor o seguro en el nivel del dispositivo, bloqueando el volumen y no dejando pasar de cierto límite, ese límite esta aproximadamente en 55% de la capacidad total del reproductor, esto favorece la salud de el oyente, como se puede observar los picos resonantes bajan, oscilando entre 70 y 75 dB SPL.

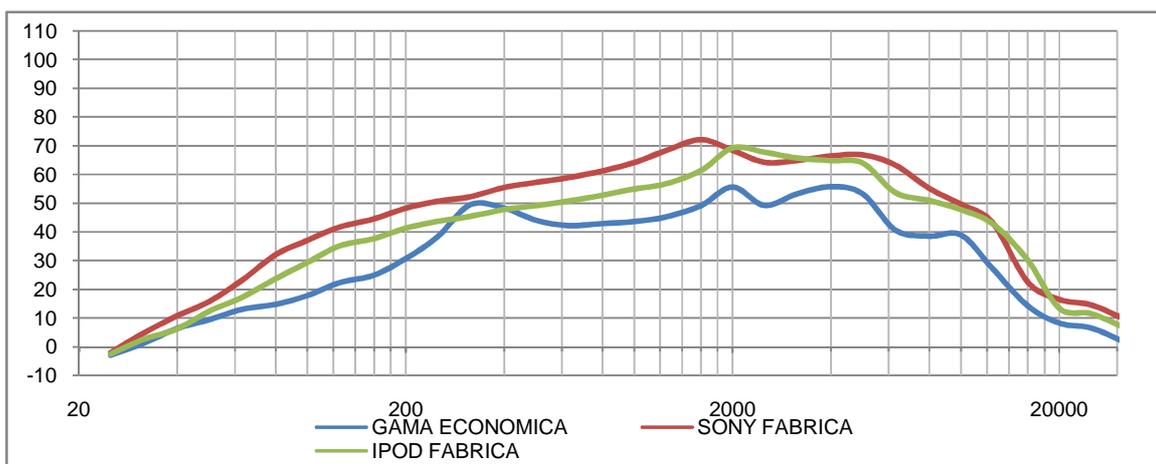
5.3.2.8 Ear-Bud (Nivel Limitador AVLS)

Pabellón Derecho



Gráfica 47: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

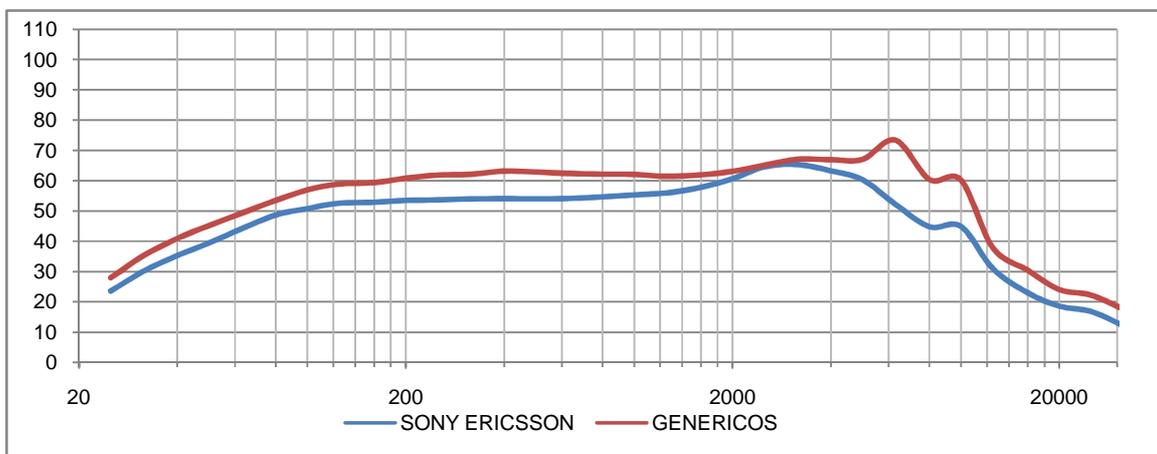


Gráfica 48: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Se puede notar un gran pérdida de energía gracias al dispositivo AVLS implementado en el reproductor, sobretudo en el auricular de fabrica, se alcanza a apreciar la linealidad de la atenuación.

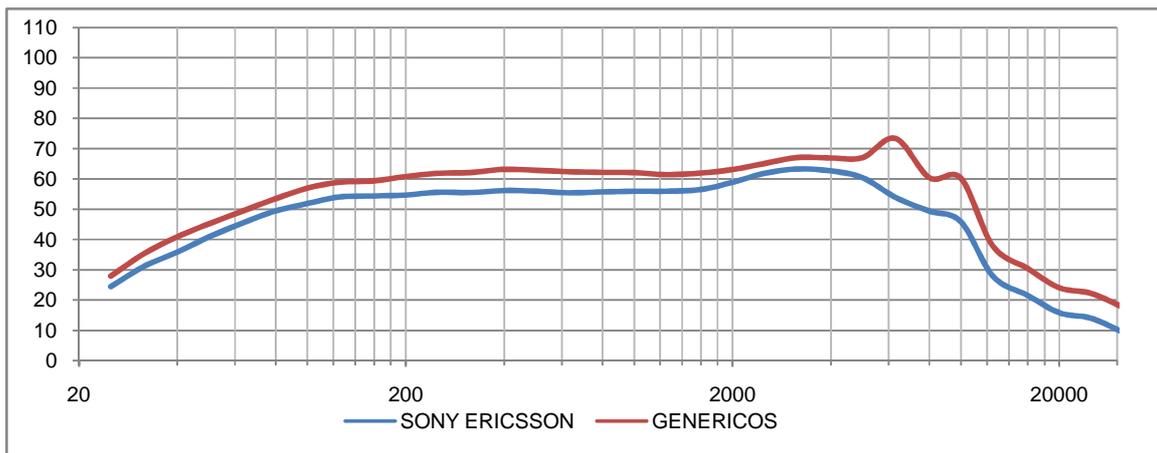
5.3.2.9 In-Ear (Nivel Limitador AVLS)

Pabellón Derecho



Gráfica 49: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo



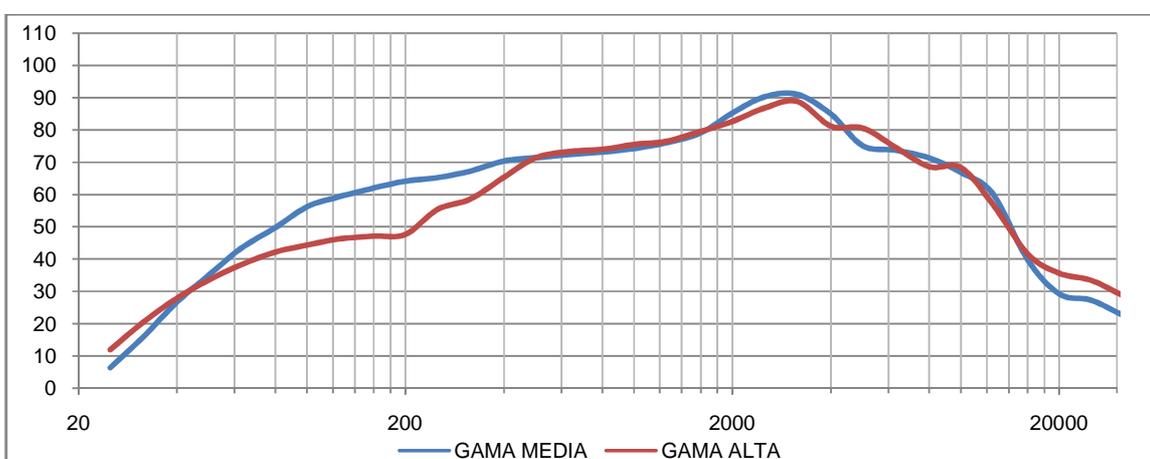
Gráfica 50: comportamiento con limitador del nivel del reproductor

Con respecto a los auriculares de fábrica o unos de la misma marca, los receptores genéricos tienen una acentuación en frecuencias altas, el pico resonante puede subir a niveles de 5 dB SPL por encima de los de fábrica.

5.3.3 QBOZ (Reproductor Genérico fabricado en China)

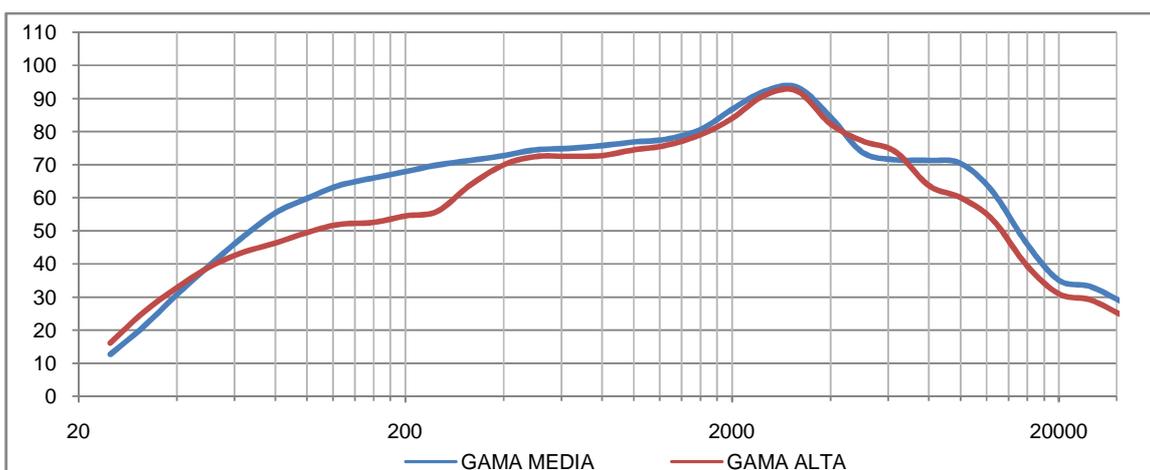
5.3.3.1 Circumaural (Nivel Máximo del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 51: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

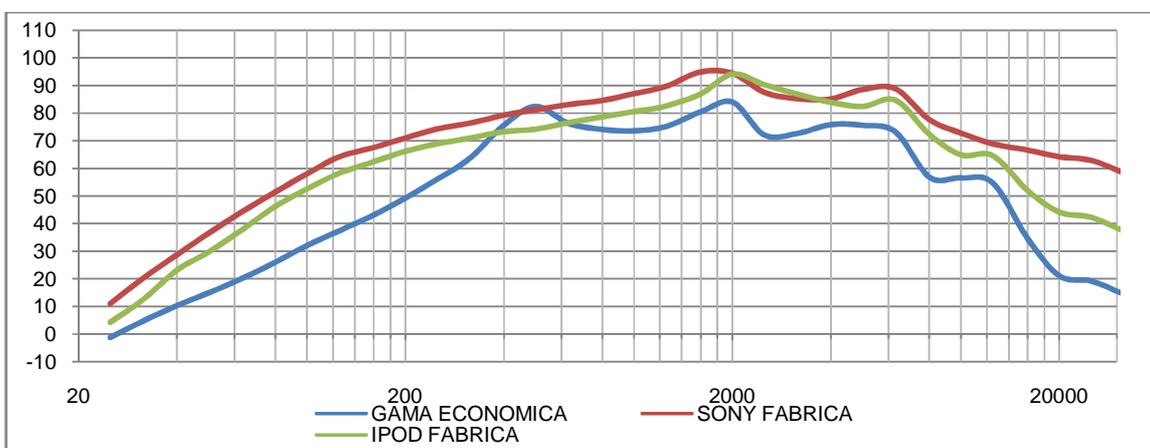


Gráfica 52: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Este tipo de reproductor está basado en partes genéricas y comerciales, a pesar de esto el nivel máximo no excede los 100 dB SPL, en estos casos el integrado del dispositivo puede llegar a distorsionar, sin embargo en auriculares de alta impedancia el nivel pico llega a 90 dB SPL, que es bastante para un reproductor en estas condiciones.

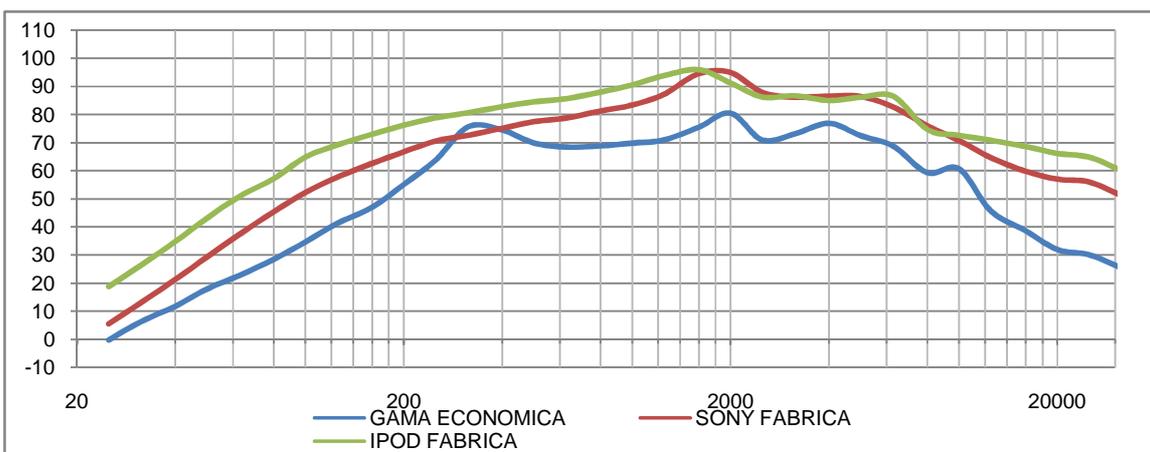
5.3.3.2 Ear-Bud (Nivel Máximo del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 53: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

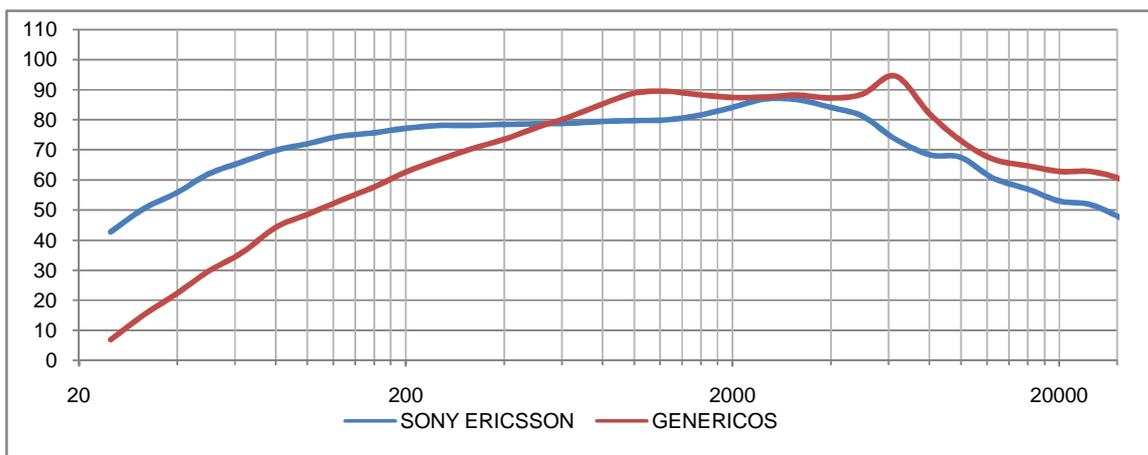


Gráfica 54: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

El comportamiento de los audífonos catalogados como Ear-Bud, es relativamente parecido en el reproductor Sony al Genérico QBOZ, por otro lado los picos de resonancia que son apreciables se encuentran alrededor de los 90 a 95 dB SPL.

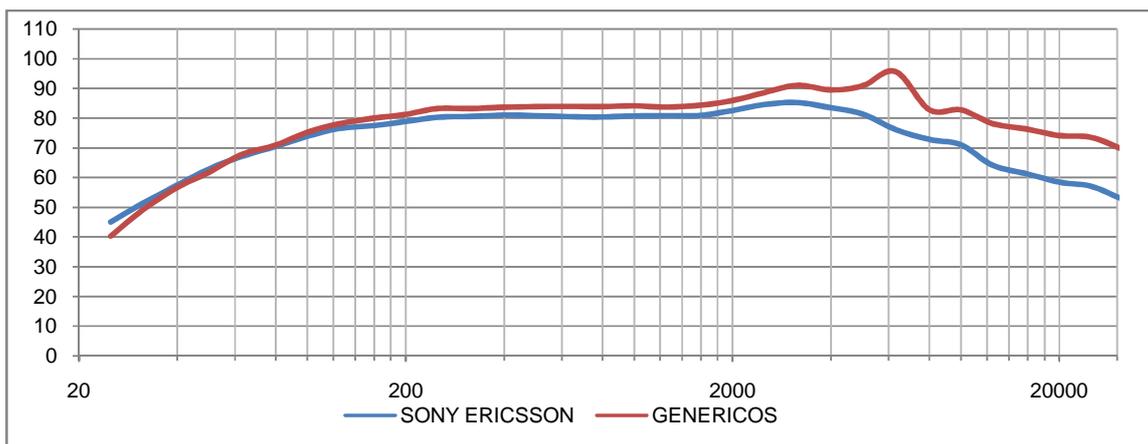
5.3.3.3 In-Ear (Nivel Máximo del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 55: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo



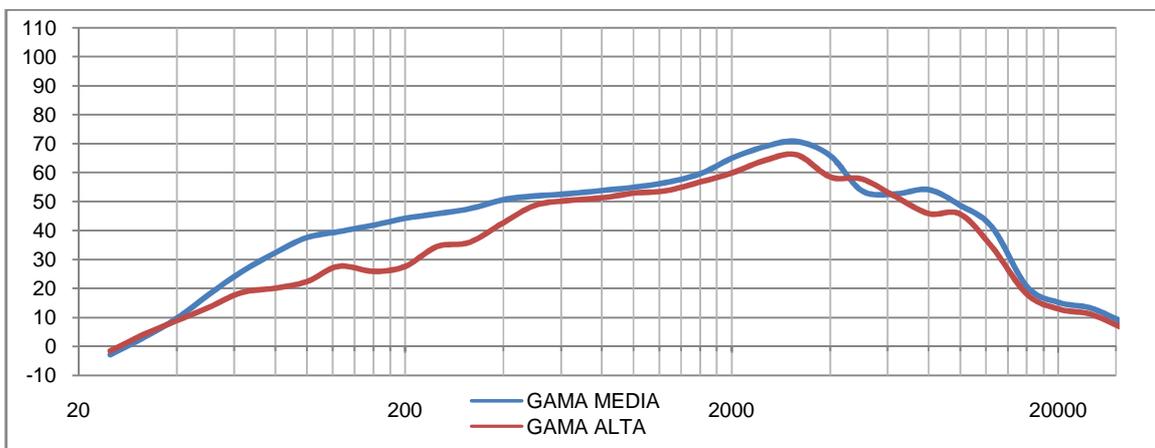
Gráfica 56: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

El desfase en frecuencias bajas del pabellón derecho, es debido a que con el uso frecuente de los auriculares genéricos el caucho cobertor se deteriora, y por

efectos de temperatura y dilatación el auricular se desacomoda, perdiendo la capacidad de reproducir bien las frecuencias bajas, de todos modos esto no afecta a frecuencias altas, porque se puede apreciar el pico de resonancia muy cercano al del pabellón izquierdo, los niveles pico oscilan entre 85 y 90 dB SPL.

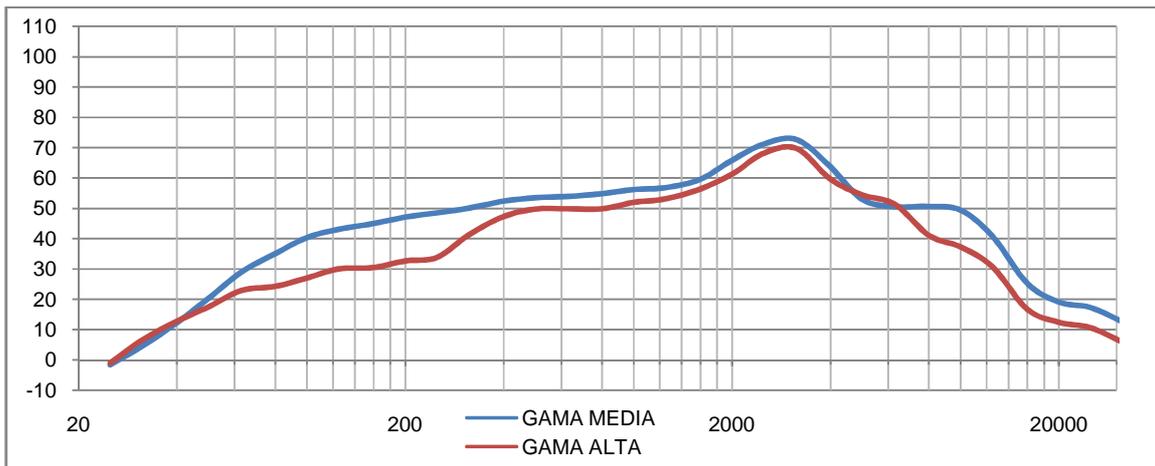
5.3.3.4 Circumaural (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 57: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

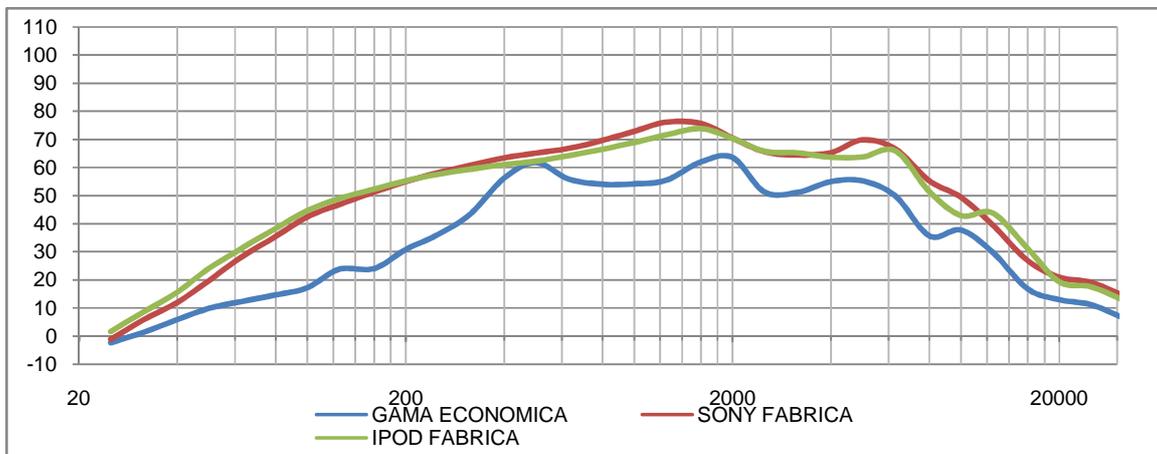


Gráfica 58: comportamiento al Máximo del nivel del reproductor

En consecuencia el nivel baja considerablemente, los picos de resonancia del oído artificial oscilan entre los 70 y los 75 dB SPL, estos niveles son permisibles, también se puede apreciar que el espectro es homogéneo tanto para los dos pabellones, como para los diferentes reproductores.

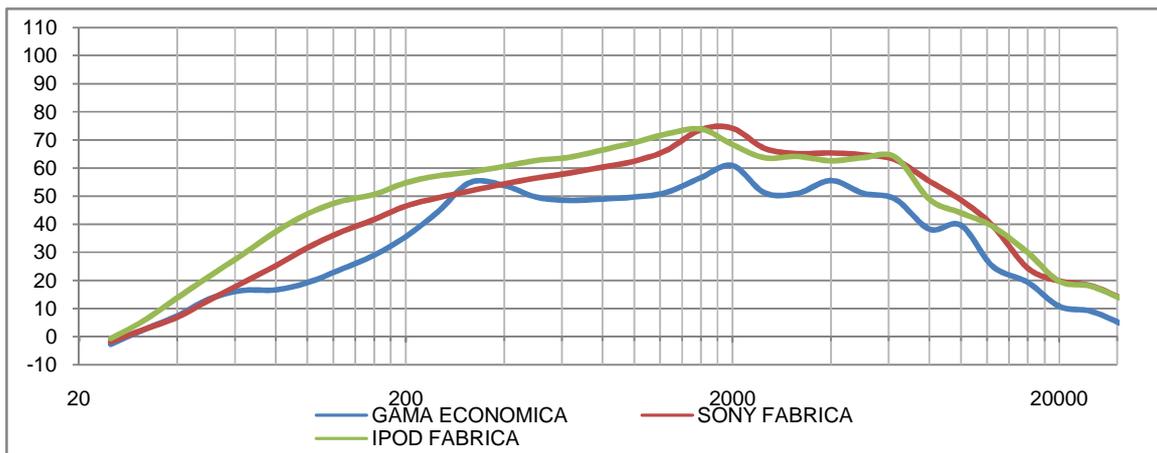
5.3.3.5 Ear-Bud (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 59: comportamiento al 60% del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo

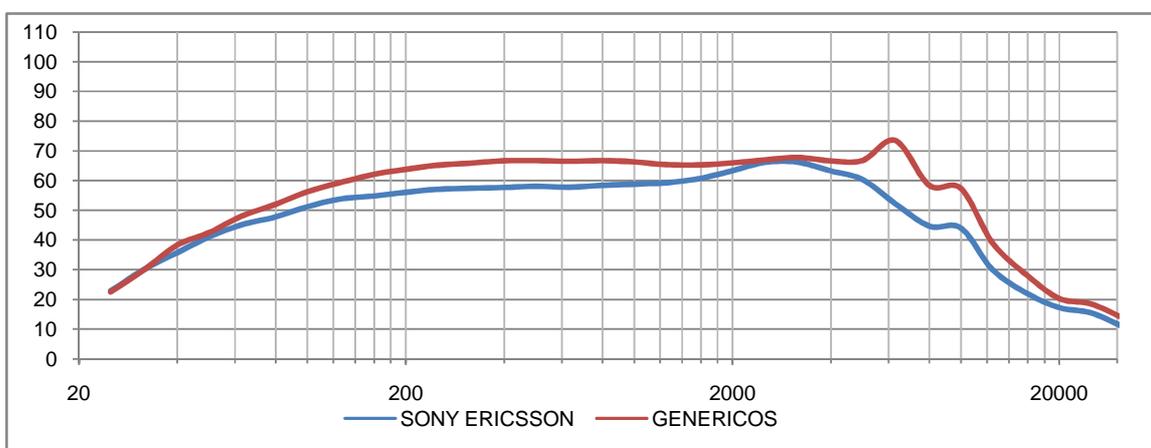


Gráfica 60: comportamiento al 60% del nivel del reproductor

Se destaca que el comportamiento de los auriculares Sony y los de Ipod, tienen un comportamiento parecido, aunque los económicos poseen pequeñas variaciones en el espectro, los niveles oscilan entre 65 y 70 dB SPL.

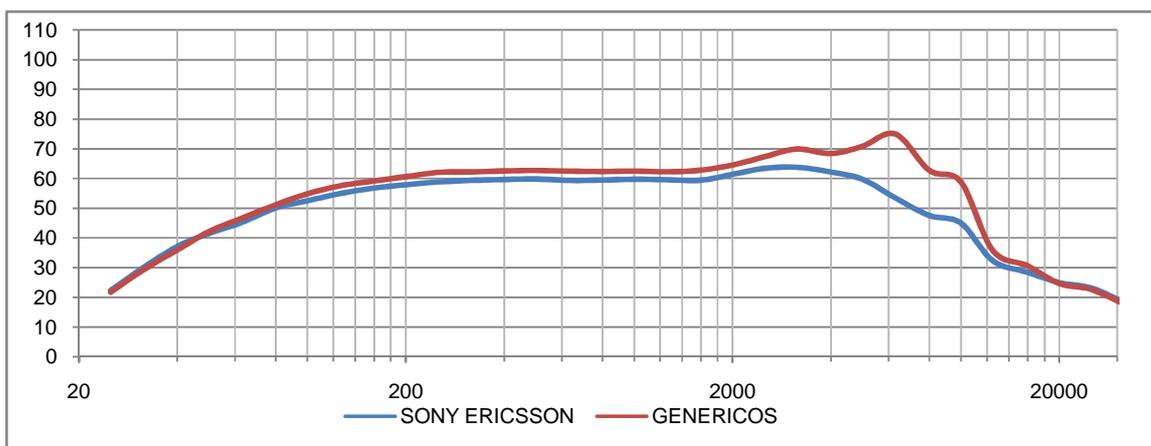
5.3.3.6 In-Ear (Nivel 60% del total de la capacidad máxima del reproductor)

Pabellón Derecho



Gráfica 61: comportamiento al 60% del nivel del reproductor

Pabellón Izquierdo



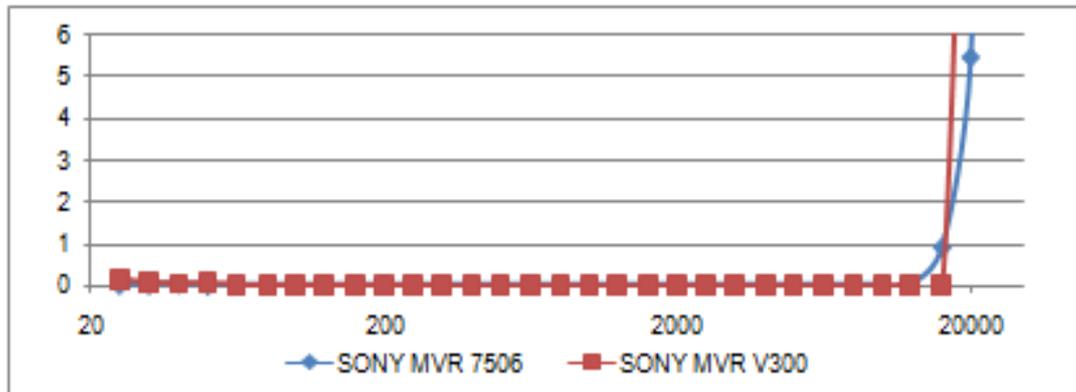
Gráfica 62: comportamiento al 60% del nivel del reproductor

La mayor información en el espectro revela un nivel de 65 dB SPL acercándose a el comportamiento de una conversación humana, por otro lado el pico desplazado en los auriculares genéricos es de 75 dB SPL, es una gran variación con respecto a la mayoría de su espectro.

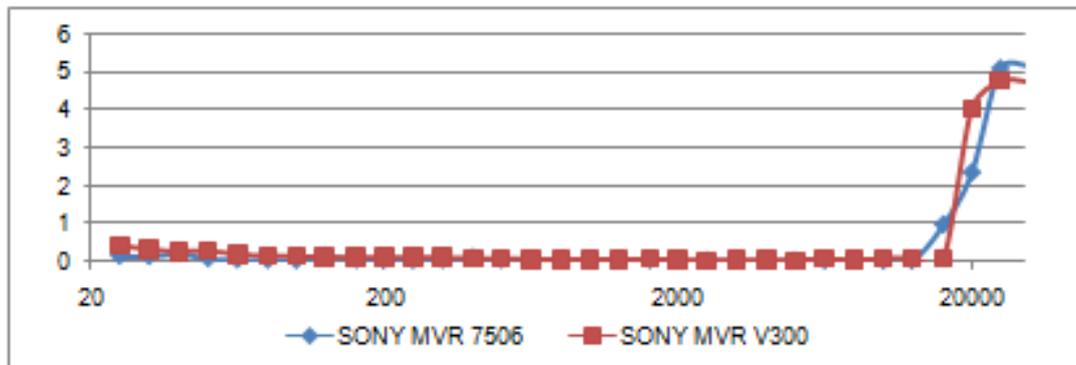
Este dispositivo de audio portátil no tiene un limitador, por ende no es posible considerar una fase de medición en este criterio.

5.4 ÍNDICE DE CONFIANZA

5.4.1 Circumaurales



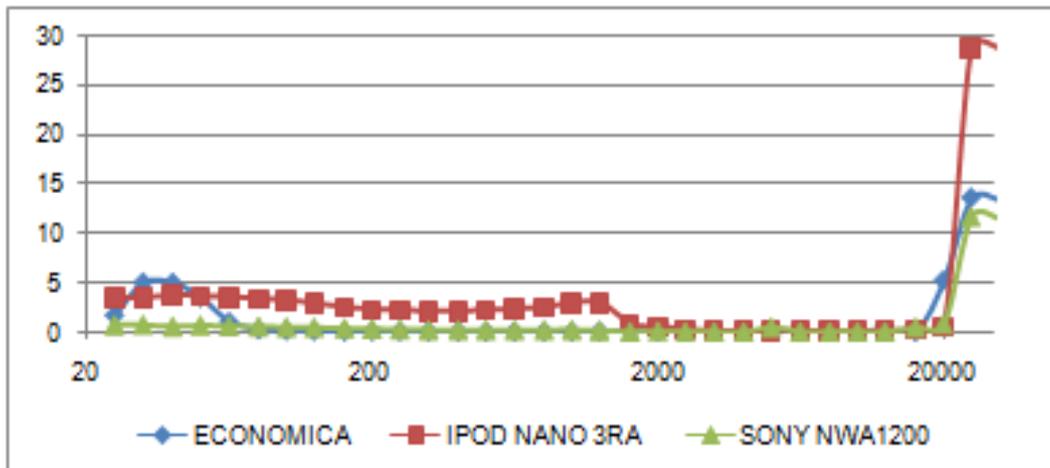
Gráfica 63: Varianza de las mediciones totales en Circumaural



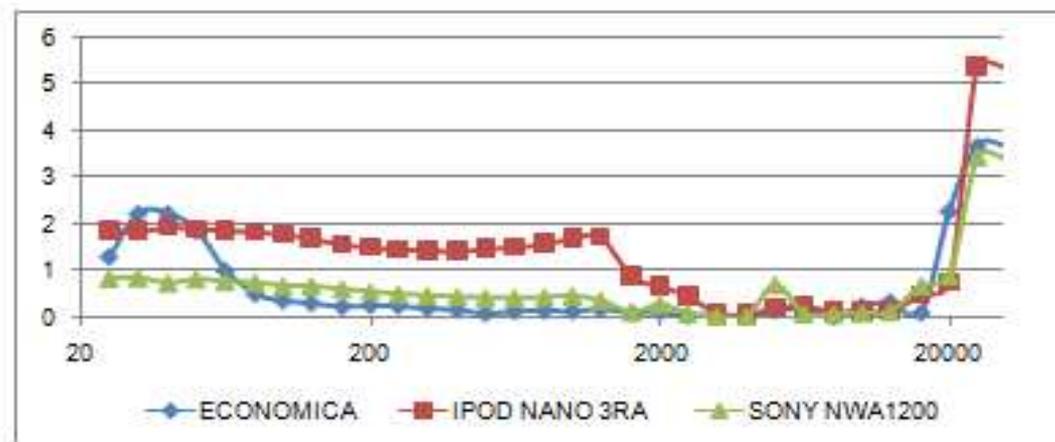
Gráfica 64: Desviación Estándar de las mediciones totales en Circumaural

La gráfica de varianza y de desviación estándar no demuestra que la efectividad de la medición es muy cercana al 90%, se puede apreciar que en frecuencias muy altas y muy bajas, la diferencia es máxima, esto es debido a la calidad del micrófono y a errores sistemáticos.

5.4.1 Ear-Bud



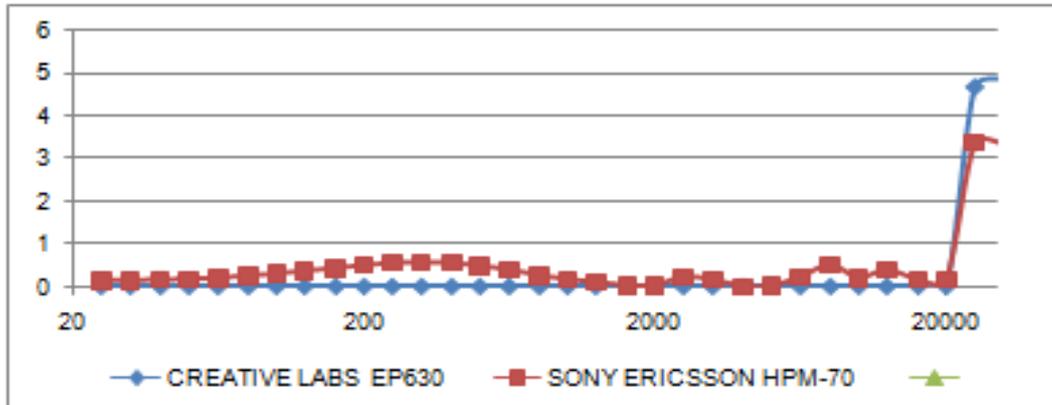
Gráfica 65: Varianza de las mediciones totales en Ear-Bud



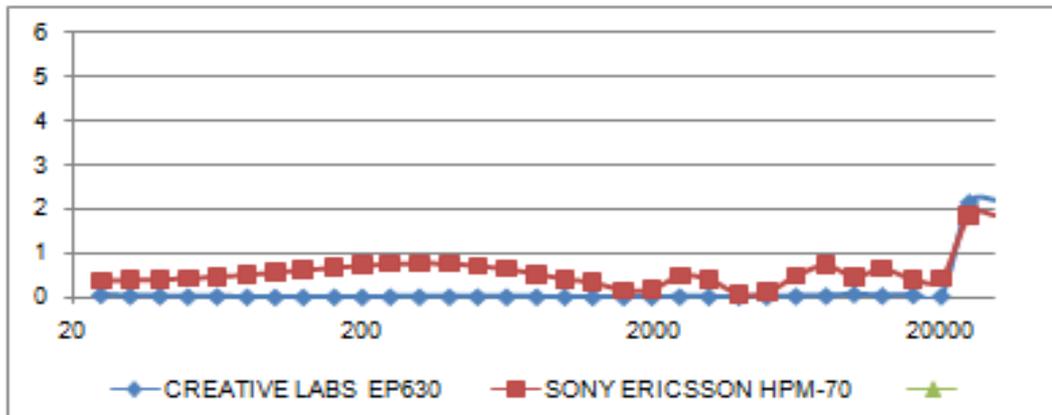
Gráfica 66: Desviación Estándar de las mediciones totales en Ear-Bud

La efectividad de las mediciones totales del diseño EAR-BUD, es de aproximadamente un 75%, ya que las variaciones en frecuencias altas son pronunciadas, además el diseño desfavorece el perfecto posicionamiento en el pabellón, haciendo que el nivel de error sistemático suba.

5.4.1 In-Ear



Gráfica 67: Varianza de las mediciones totales en In-Ear



Gráfica 68: Desviación Estándar de las mediciones totales en In-Ear

Gracias al diseño de estos auriculares, el nivel de efectividad es del 95%, ya que las variaciones en frecuencias altas se disminuyen. La causa de esto puede ser la acomodación perfecta del auricular en el canal auditivo, también la respuesta en frecuencia y la calidad del transductor, hacen la homogeneidad de los datos, las variaciones que se pueden apreciar, hacen parte del error sistemático del micrófono.

La siguiente tabla muestra la cantidad de datos y repeticiones en todas las fases de medición:

Fase de Medición	Dispositivo Portátil	Pabellón	Auricular	Repeticiones
Respuesta en frecuencia	N/A	Derecho	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
Respuesta en frecuencia	N/A	Izquierdo	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
Máximo Nivel	QBOZ	Derecho	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
		Izquierdo	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
Máximo Nivel	Sony NW-A1200	Derecho	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
		Izquierdo	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10

			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
Máximo Nivel	Ipod NANO	Derecho	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
		Izquierdo	Ipod Fabrica	10
			Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
Nivel 60%	QBOZ	Derecho	Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
			Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
		Izquierdo	Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
			Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
Nivel 60%	Sony NW-A1200	Derecho	Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
			Gama Alta	10
			Gama Media	10
		Izquierdo	Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10

			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
Nivel 60%	Ipod NANO	Derecho	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
		Izquierdo	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
Nivel Limitador	Sony NW-A1200	Derecho	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
		Izquierdo	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
Nivel Limitador	Ipod NANO	Derecho	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
		Izquierdo	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10

Aislamiento Neto	N/A	N/A	Gama Alta	10
			Gama Media	10
			Gama Económica	10
			Genéricos	10
			Sony Fabrica	10
			Sony Ericsson	10
			Ipod Fabrica	10
Total de Mediciones			1330	

Tabla 12: Totalidad de mediciones que comprende el proyecto

6. CONCLUSIONES

Al emular un pabellón auditivo con el propósito de analizar el comportamiento en frecuencia de los auriculares indicados anteriormente, se concluyó que el comportamiento fue el siguiente:

GAMA ALTA: El comportamiento en frecuencias bajas, incrementa logarítmicamente de 20 a 200 Hz, de los 200 Hz hasta 4000 Hz se aumenta bruscamente, teniendo una acentuación máxima en 3000 Hz.

GAMA MEDIA: Para frecuencias bajas el crecimiento de la señal a medida que aumenta la frecuencia es lineal, esto se ve en 20 a 200 HZ, de este punto se estabiliza hasta los 1200 Hz, comenzando a crecer bruscamente, generando el pico de resonancia en 3150 Hz, desde este momento decrece la señal hasta los 20 KHz, este comportamiento es parecido al de un oído humano.

GAMA ECONÓMICA: En estos auriculares el comportamiento es lineal de los 20 hasta los 500 Hz, de este punto decrece y crece, formando picos de resonancia en 1600 Hz, 6300 Hz, 10000 Hz, esto puede deberse a el diseño de los auriculares, y a la calidad del transductor.

GENÉRICOS: Gracias a el diseño de estos auriculares, el comportamiento en frecuencia es parecido a la forma como escucha el oído humano, la linealidad de la señal desde 20 Hz hasta 1600 Hz, los picos resonantes de 6300 Hz y 10000 Hz pueden deberse a que el auricular entra en el canal auditivo y acorta el tubo sintonizado, haciendo que la frecuencia de resonancia se desplace una octava arriba.

SONY® DE FABRICA: En frecuencias bajas el comportamiento es lineal basados en la forma como escucha el oído humano, por otro lado los picos de resonancia en 1250 Hz y 5000 Hz, pueden deberse a la calidad del transductor y el diseño del mismo.

SONY® ERICSSON: Estos auriculares se comportan de una manera lineal en casi todo el ancho del espectro auditivo, están creados para que se introduzcan el canal auditivo, por esta razón el desplazamiento de la frecuencia de resonancia

llega hasta los 5000 Hz, generando un armónico de resonancia en los 10000 Hz, la señal cae hasta los 18 KHz, donde vuelve a crecer cayendo de nuevo en los 20 KHz, esto se debe a la calidad del transductor y a las cavidades de aire que surgen en las paredes del tubo, cabe aclarar que la punta de caucho del auricular es más pequeña y no queda tan fija como la de los auriculares genéricos.

IPOD® NANO: El comportamiento en frecuencia de estos auriculares es parecido al de SONY® de fabrica, sin embargo, el diseño de este auricular realza un pico en los 6300 Hz, y tiene un nuevo crecimiento en 12500 Hz, esto se debe a la calidad del transductor, el diámetro del transductor es un poco más grande que el de los SONY® de fabrica, sellando de esta manera mejor el conducto auditivo.

Delimitar un pabellón auditivo en formas y tamaños es realmente dispendioso, ya que la cantidad de muestras físicas de pabellones es muy grande, esto se debe a que las razas y las condiciones culturales son muy diferentes, sin embargo se puede llegar a recrear un pabellón normal, que se comporte parecido a uno real, de aquí se puede concluir que la forma y el tamaño del pabellón no modifica de manera sustancial la forma en que los dispositivos de audio portátil afectan el oído.

Para construir el pabellón se utilizaron elementos naturales y artificiales que pueden emular en algún momento la textura de la piel humana, cabe aclarar que para emular la viscosidad y el componente, como la irrigación sanguínea, es necesario utilizar otros métodos, sin embargo este tipo de características no afectan de manera sustancial el objetivo principal de la emulación.

En el mercado existen muchos tipos de auriculares, la demanda de estos sigue creciendo cada vez más, los diseños, colores y formas son muchas, lo que realmente importa en un auricular, es la calidad del transductor, la determinación exacta del uso del mismo y el buen uso que se le pueda dar. Sin embargo en el presente importa más la producción en masa que la calidad de escucha del usuario.

Las mediciones realizadas a los auriculares generan datos que retoman teorías del funcionamiento del oído humano, estos estudios fueron realizados por Munson y Fletcher.

Comparando objetivamente los resultados de las mediciones se concluye que: Los auriculares IN-EAR (Genéricos y los SONY® ERICSSON), representan un alto nivel de presión sonora al hacer mediciones de nivel con dispositivos de audio portátil, por ende pueden causar mayor daño en el oído, cabe aclarar que este daño es considerado a largo plazo, lo mejor para evitar este riesgo es tener conciencia de el nivel del dispositivo y con ayuda del el aislamiento de este diseño de auricular, prevenir el incremento de nivel, haciendo un mejor uso del auricular y minimizando riesgos.

Los auriculares EAR-BUD (SONY® FABRICA y IPOD® NANO), contienen un alto nivel en frecuencias cercanas a las de resonancia del oído, usándolos prolongadamente, es decir más de 2 horas diarias, pueden causar una disminución en la capacidad de inteligibilidad entre las personas, ya que el instrumento para poder escuchar a los demás seres en presencia de ruido es la sintonización del tubo, cuando la presión y la intensidad se concentran en estas frecuencias, la cóclea tiende a desplazar estas frecuencias y perder la captación del mensaje.

Los auriculares CIRCUMAURALES (GAMA ALTA, GAMA MEDIA), contienen una información más equilibrada que los demás auriculares, sin embargo, el uso irresponsable de estos auriculares pueden causar daños irreversibles, muy parecidos a los EAR-BUD, ya que la energía se concentra de nuevo en la frecuencia de resonancia del canal auditivo. Por otro lado gracias a que los transductores de este tipo de auriculares son más grandes y más resistentes, tienen la posibilidad de generar mayor intensidad sonora dentro del canal.

Los Dispositivos de audio portátil utilizados tienen sus ventajas y sus desventajas, entre estas se concluye que:

QBOZ® (GAMA ECONÓMICA DE MP4) Este tipo de dispositivos vienen diseñados con utilidades multifacéticas, pueden reproducir audio, video y radio, este tipo de características incentivan a la gente a utilizar más tiempo el dispositivo, aumentando de esta forma el riesgo de tener pérdida auditiva por uso prolongado, por otro lado, los auriculares de fabrica de este dispositivo, provienen de la más baja calidad, esforzando al oído a una mejor escucha.

SONY® NW-A1200 (REPRODUCTOR DE TRASCENDENCIA EN EL MERCADO), este dispositivo solo reproduce MP3 y ATRAC, gracias a que

SONY® son los pioneros en este tipo de dispositivos, poseen tecnologías que pueden aportar mucho más a la disminución de riesgos de pérdida auditiva, el sistema AVLS (Automatic Volume Limiter System) controla el nivel impidiendo que pase de 13 puntos de volumen, sabiendo que el dispositivo al máximo tiene 30 puntos. Por otro lado son los únicos en el mercado que tienen un documento físico alertando al usuario sobre el riesgo de utilizar el dispositivo en temporadas largas. Sin embargo el usuario prefiere hacer caso omiso al manual de usuario.

IPOD® NANO (REPRODUCTOR MAS VENDIDO), este reproductor viene diseñado para reproducir MP3, videos de música, películas, radio entre otras. En su empaque no posee ningún tipo de prevención al usuario que revele el riesgo del uso desmesurado del dispositivo, este fabricante está encaminado básicamente al diseño y a la calidad de los componentes, posee un sistema de limitación de nivel, pero el uso de este es completamente deducible por el usuario, es decir que el usuario decide si limita 2 puntos de nivel o limita 25 puntos, es algo que no funciona para personas que no comprenden bien el uso de esto, por ende las personas prefieren no utilizarlo.

Retomando todos los aspectos analizados anteriormente, se aclaran aspectos tales como el funcionamiento de cada uno de los diseños de auricular que actualmente reinan el mercado, las variaciones son reales y pronunciadas, por ende asegurar que un diseño puede causar más daño que otro es totalmente real.

En cuanto al aislamiento es muy claro que los auriculares tales como los In-Ear y los Circumaural, tienen el mejor comportamiento, este tipo de fortaleza puede ayudar al oyente en el momento de controlar el nivel del dispositivo en situaciones ruidosas, los Ear-Bud gracias a su pobre aislamiento, en muchos de los casos el usuario tiende a incrementar el nivel, haciendo que el oído sufra condiciones de fatiga y daño.

El comportamiento en nivel de cada uno de los auriculares puestos a prueba revelan que van directamente ligados al funcionamiento del sistema de reproducción, en esta fase se considera que un reproductor que tenga tecnologías como los limitadores, pueden ayudar a eliminar las probabilidades de un daño a largo plazo, sin embargo los estudios realizados como la ley del 60:60 generan soluciones aproximadas que no en todos los casos pueden servir, ya que la variedad de sistemas de reproducción de audio portátil es muy alta. Se considera que lo mejor para eliminar el riesgo de daños auditivos a largo plazo es no utilizar

el reproductor por temporadas muy largas, ni en condiciones de alto ruido, que puedan afectar el control del nivel total del reproductor.

Tratar de predecir un daño a largo plazo es muy difícil, pero si se puede concientizar a las personas que existe un alto riesgo, y la mejor forma de esto es demostrando de una manera ingenieril el comportamiento de los dispositivos en situaciones reales y cotidianas.

Con el diseño de sistemas de emulación se puede aproximar minuciosamente el comportamiento del oído humano y se puede advertir, no solamente el daño, sino que se puede diseñar e implementar nuevas tecnología las cuales eliminen este tipo de daños.

7. RECOMENDACIONES

El auto equipamiento de la Universidad de San Buenaventura en este tópico, abre una gran puerta a la investigación a los estudiantes, generando temas de proyectos, los cuales pueden ayudar a comprender el funcionamiento de estas tecnologías y pueden proporcionar soluciones a los fabricantes. Se generaran unas bases de datos dinámicas, auto-alimentales, que puede utilizar la universidad como herramienta para comprender mejor el funcionamiento de los auriculares

Para que el sistema tenga un nivel de confiabilidad más alta y se pueda controlar los dispositivos que existen en el mercado, es necesario utilizar instrumentos de medición más precisos, programar un software que se acerque más al funcionamiento del oído también se puede mejorar la calidad del pabellón utilizando prótesis reales. Cabe aclarar que para realizar esto el incremento económico es considerablemente alto.

Para lograr aun más exactitud en los datos obtenidos, es recomendable someter el sistema a una cámara anecóica. Los auriculares sometidos a prueba tienen diferentes diseños y funciones, lo recomendable es utilizar el apropiado para disminuir el riesgo al daño, por ejemplo, si el dispositivo de audio portátil va a ser utilizado en condiciones realmente ruidosas es necesario escoger un diseño que aisle muy bien este ruido, con el fin de no utilizar al máximo la capacidad de nivel de dicho reproductor. Lo más recomendable en situaciones de alto ruido es no utilizar este tipo de dispositivos, mejor utilizar protección auditiva.

Por otro lado, es importante dejar descansar el oído, después de sesiones con este tipo de dispositivos, ya que el oído responde a estas señales, y si las exposiciones son muy largas, se puede llegar a padecer de enfermedades tales como el tinitus, los acufenos y las cefaleas, típicos de personas que exponen su sistema de audición a ruidos altos en periodos de tiempo largos.

Hay que tener en cuenta que el auricular perfecto no existe, tampoco el sistema de reproducción, lo que sí se puede considerar es la responsabilidad del uso de este tipo de dispositivos, es recomendable las precauciones adecuadas cuando un niño utiliza este tipo de sistemas, es deber de los padres controlar y hacer cumplir este tipo de precauciones. Si no es posible el control de esto, es adecuado no utilizar el dispositivo.

La tecnología de estos dispositivos está evolucionando cada vez más, a tal punto que ahora se puede ver televisión, ver películas y hacer llamadas telefónicas desde un mismo dispositivo, es aquí cuando entra la responsabilidad del usuario, teniendo como herramienta este tipo de trabajos, existen razones de peso y claras para tener conciencia y evitar los riesgos, sabiendo que la pérdida auditiva es irreversible.

BIBLIOGRAFÍA

BORWICK JOHN. Reed Educational and Professional Publishing. Londres Inglaterra. 2001 Loudspeaker and Headphones Handbook, 600 p.

SCHROEDER ALEJANDRO, Medición de respuesta en frecuencia de auriculares. Universidad de San Buenaventura.

MOORE KEITH L, Anatomía con orientación clínica. (Tercera edición) Capítulo 7 (oído), 1993, 946 p.

GRUPO DE ACÚSTICA Y VIBRACIONES (GAV), Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nacional 36 Km. 601. (X5800BYA) Río Cuarto, Córdoba. Argentina.

MONTGOMERY., Diseño y Análisis de Experimentos (2ª Ed. 2002) WILEY.

LEO L. BERANEK, Editorial Hispano América, 1969, Buenos Aires, Argentina

Instituto YOUTH HEAR IT, Muchos peligros para tu audición, en línea,
<http://www.spanish.youth.hear-it.org/>

Instituto YOUTH HEAR IT, Los Jóvenes llevan una vida ruidosa,
<http://www.spanish.press.hear-it.org/>

YOUTH HEAR IT, <http://www.spanish.medical.hear-it.org/>

YOUTH HEAR IT, <http://www.spanish.political.hear-it.org/>

<http://www.google.com/imagenes/>

WORDPRESS, Otoplastia: ¿cuál es el tamaño normal de la oreja?,
<http://www.cirurgiaesteticaplastica.com/otoplastia/otoplastia-tamano-normal-orejas/>

MAGGIOLO DANIEL, Sistema Auditivo Periférico,
<http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/sap.html>, en línea.

ATV 2002 – Dpto. Electrónica y Tecn. Computadores – UGR, Presentación en Power Point, Fisiología de la audición, en línea,
ceres.ugr.es/~atv/Documents/Docencia/audiolog3.ppt .

ANEXOS

ANEXO A El software SpectraPLUS® de PIONNER® HILLS, es un programa diseñado para caracterizar el comportamiento espectral del sonido, basándose en muchas herramientas. En el proyecto se utilizó en tiempo real, y se calibró bajo los parámetros anteriormente mencionados, una ilustración del software funcionando es la siguiente:



Figura 32: SpectraPLUS® de PIONNER® HILLS *Funcionando*.

ANEXO B Tabla de niveles permitidos por la organización mundial de la salud (OMS).

		Valores límite recomendados		
Recinto	Efectos en la salud	LAeq (dB)	Tiempo (horas)	LAmáx, fast (dB)
Exterior habitable	Malestar fuerte, día y anochecer	55	16	-
	Malestar moderado, día y anochecer	50	16	-
Interior de viviendas Dormitorios	Interferencia en la comunicación verbal, día y anochecer	35	16	
	Perturbación del sueño, noche	30	8	45
Fuera de los dormitorios	Perturbación del sueño, ventana abierta (valores en el exterior)	45	8	60
Aulas de escolar y preescolar, interior	Interferencia en la comunicación, perturbación en la extracción de información, inteligibilidad del mensaje	35	Durante la clase	-
Dormitorios de preescolar, interior	Perturbación del sueño	30	Horas de descanso	45
Escolar, terrenos de juego	Malestar (fuentes externas)	55	Durante el juego	-
Salas de hospitales, interior	Perturbación del sueño, noche	30	8	40
	Perturbación del sueño, día y anochecer	30	16	-
Salas de tratamiento en hospitales, interior	Interferencia con descanso y restablecimiento	1		
Zonas industriales, comerciales y de tráfico, interior y exterior	Daños al oído	70	24	110
Ceremonias, festivales y actividades recreativas	Daños al oído (asistentes habituales: < 5 veces/año)	100	4	110
Altavoces, interior y exterior	Daños al oído	85	1	110

Música a través de cascos y auriculares	Daños al oído (valores en campo libre)	85 ⁴	1	110
Sonidos impulsivos de juguetes, fuegos artificiales y armas de fuego	Daños al oído (adultos)	-	-	140 ²
	Daños al oído (niños)	-	-	120 ²
Exteriores en parques y áreas protegidas	Perturbación de la tranquilidad	³		

Notas

¹: *Tan débil como se pueda.*

²: *Presión sonora pico (no LAmax, fast), medida a 100 mm del oído.*

³: *Las zonas tranquilas exteriores deben preservarse y minimizar en ellas la razón de ruido perturbador a sonido natural de fondo.*

⁴: *Bajo los cascos, adaptada a campo libre.*

Tabla 13: Niveles de ruido permitidos por la OMS (Organización Mundial de la Salud)