



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SONIDO Y ACÚSTICA**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EXPERIMENTACIÓN  
DE UN MODELO HUMANO PARA MICROFONIA BINAURAL**

**Autor:**

David Eduardo Tornay Andrade

**Año**

2010



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SONIDO Y ACÚSTICA**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EXPERIMENTACIÓN  
DE UN MODELO HUMANO PARA MICROFONIA BINAURAL**

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

**Profesor Guía:**

Ing. Marcelo Darío Lazzati Corellano

**Autor:**

David Eduardo Tornay Andrade

**Año**

2010

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Marcelo Darío Lazzati Corellano  
Ingeniero en Ejecución de Sonido  
CI: 171163573-8

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

David Eduardo Tornay Andrade

CI: 171167928-0

**AGRADECIMIENTO**

A Marcelo Lazzati, por encaminar el  
correcto desarrollo de este proyecto.

**DEDICATORIA**

A mi madre Patricia Andrade y solamente a ella,  
porque gracias a su sacrificio, esfuerzo y apoyo  
incondicional por tantos años he llegado a dar  
este paso tan grande en mi vida.

Gracias

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en crear un modelo de cabeza y torso humano lo más apegado a la realidad posible, con el fin de poder registrar sonidos desde la perspectiva de una persona, y así generar una imagen sonora reproduciéndola mediante audífonos, en la que se pueda localizar espacialmente un sonido, buscando una respuesta de frecuencia lo más plana posible para entregar un sonido natural, con el fin de generar un ambiente realista e involucrar al oyente al máximo.

A lo largo del proyecto se presentan dos etapas: una de desarrollo del *dummy head*, y otra de medición en donde se comprueba su efectividad y precisión. En la etapa de desarrollo, se planifica paso por paso cómo se construye el modelo, qué materiales se utilizan para las distintas partes del mismo, qué tipo de micrófonos se escogen y su respuesta de frecuencia, todo bajo principios fundamentados y siguiendo la lógica en todo momento. En esta misma etapa, se elabora el modelo procurando ser minucioso en todos los aspectos y manteniendo la metodología planteada, para que el *dummy head* se distancie lo menos posible de la realidad.

Durante la segunda etapa, se realizan mediciones, las mismas que se dividen en tres grandes partes: con los micrófonos al aire libre, con los micrófonos dentro de una cabeza humana real y por último con los micrófonos dentro del modelo *dummy head*; posteriormente, se evalúan estas muestras con un software que sea capaz de analizar audio y entregar como resultado una respuesta de frecuencia. Esta respuesta de frecuencia, será comparada entre todas las muestras para observar cambios, coincidencias y variaciones, encontrando así una causa y su efecto para todas las respuestas obtenidas en los distintos puntos.

## **Abstract**

This project consists in creating a model of human head and torso, as attached to reality as possible, in order to record sounds from the perspective of a person, and thereby generate an image reproducing sound through headphones, in which this sound can be spatially localized, looking for a frequency response, as flat as possible, to deliver a natural sound, in order to generate a realistic environment and engage the listener as possible.

Throughout the project there are two stages: development of dummy head, and another of measurement, where is checked its effectiveness and precision. The development stage, is planned step by step how to build the model, what materials are used for different parts of it, what type of microphones will be chosen and its frequency response, all founded on principles and following the logic all time. In this same stage, the model is made trying to be thorough in all aspects and maintaining the proposed methodology, so that the dummy head distances as little as possible from reality.

During the second stage, measurements are made, these are divided into three main parts: with microphones to open air, with microphones in a real human head and finally with microphones in the dummy head model; subsequently an evaluation of these samples with software capable to analyze audio and deliver results of frequency response is made. This frequency response will be compared among all samples to monitor changes, similarities and variations, thus finding a cause and effect for all responses obtained at different points.







2.3.5 Impedancia .....	28
2.4 Grabaciones binaurales .....	28
2.4.1 Micrófonos estéreo.....	29
2.4.2 Tipos de grabaciones binaurales .....	30
2.4.3 Sistemas de reproducción.....	30
2.4.3.1 Circumaurales .....	31
2.4.3.2 Supra-aurales.....	31
2.4.3.3 Intra-aurales .....	31
3. DESARROLLO .....	33
3.1 Metodología .....	33
3.1.1 Metodología para la fabricación.....	33
3.1.1.1 Selección de la microfonía .....	33
3.1.1.2 Selección de la sensibilidad .....	33
3.1.1.3 Selección de patrón polar.....	34
3.1.1.4 Selección de respuesta de frecuencia .....	34
3.1.1.5 Tamaño y diseño.....	35
3.1.1.6 Selección de los materiales para modelos de pabellón y canal auditivo.....	35
3.1.1.7 Selección de materiales para el modelo de cabeza y torso.....	36
3.1.2 Metodología para la medición .....	36
3.1.2.1 Toma de muestras .....	36
3.1.2.2 Análisis de los datos recolectados .....	37
3.2 Fabricación .....	37
3.2.1 Micrófonos.....	37
3.2.2 Moldes de oreja y canal auditivo.....	38
3.2.3 Modelo de cabeza y torso humano .....	40
3.2.3.1 Acondicionamiento del maniquí .....	41
3.2.3.2 Montaje de los modelos de oreja y canal auditivo.....	42
3.2.3.3 Relleno y acabo del modelo .....	44

3.3 Mediciones .....	46
3.4 Resultados .....	48
3.4.1 Gráficos de frecuencia obtenidos de las mediciones en los micrófonos al aire libre.....	49
3.4.2 Gráficos de frecuencia obtenidos de las mediciones en los micrófonos dentro de la cabeza real.....	56
3.4.1 Gráficos de frecuencia obtenidos de las mediciones en los micrófonos dentro del <i>dummy head</i> .....	75
4. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	96
4.1 Relación costo beneficio .....	97
5. IMPLEMENTACIONES FUTURAS DEL PROYECTO...	99
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
6.1 Conclusiones.....	101
6.2 Recomendaciones .....	105
BIBLIOGRFÍA .....	108
Libros .....	108
Ficheros electrónicos .....	108
Páginas web.....	108
ANEXOS .....	111
Anexo 1.....	111
Anexo 2 .....	114
Anexo 3 .....	117

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La grabación binaural es un método de grabación, en donde se utiliza un arreglo especial de micrófonos para una posterior reproducción de esta señal mediante audífonos. La grabación por *dummy head* se refiere a un método específico de capturar una señal; éste se lo realiza colocando los micrófonos dentro o fuera de un modelo de cabeza humana, para obtener una señal desde el punto de vista de direccionalidad y espacialidad, como si una persona estuviese en el mismo lugar del *dummy head*. Debido a que cada persona es única, y los huesos del cráneo y la construcción del oído no es la misma, algunas personas al escuchar desde los audífonos esta señal grabada con el modelo, pueden tender a confundir la procedencia del sonido, ya que el cerebro aprende a ubicar la fuente en la niñez, con todas las variables únicas de construcción ósea de esa persona.

El término binaural, es comúnmente confundido con estéreo, pero las grabaciones estéreo no toman como factor el espaciamiento entre oídos, o la sombra que se puede dar por la cabeza según la ubicación de fuente. El cerebro de una persona, empieza a crear su propia DTI (diferencia de tiempo interaural) y su propia DNI (diferencia de nivel interaural) desde la formación del oído; por esto, si se reproduce una señal por altavoces que ha sido grabada dentro de la cabeza de un maniquí, el oído va a tener la presencia de dos sombras, tiempos y niveles interaurales, la del maniquí y la de la persona. Por lo tanto, si la señal se graba para ser escuchada por altavoces, se recomienda una técnica de microfonía cuasi-binaural, es decir, con los micrófonos fuera del modelo, para que de esta forma la cabeza del oyente genere la sombra, el DNI y el DTI.

La historia de la grabación binaural, data de 1881 cuando se construye la primera unidad de grabación. Ésta consiste en un arreglo de micrófonos de

carbón, los cuales fueron usados en esa época para la telecomunicación, éstos estaban instalados en el borde del escenario de la Ópera Garnier, de forma tal que captasen todo lo que sucedía sobre éste. La señal era enviada por teléfono a las personas suscritas a este servicio; éste requería del uso de un sistema especial, que consistía en una especie de audífonos, con un altavoz pequeño, de teléfono mismo, en cada lado.

La novedad pronto se apagó, debido al poco interés del público en este tipo de transmisiones, pero no fue hasta después de cuarenta años que en una radio de Connecticut se empezó a transmitir programas binaurales. Como la radio estéreo no se había inventado todavía, la radio transmitía por una frecuencia el lado izquierdo y por otra el derecho, lo que significaba que los radioescuchas tuvieran en su casa dos radios, y colocar su sistema de audífonos conectados un lado en una radio y el otro en otra radio. Para la época, poseer dos radios era un lujo que no todos se podían dar, así que rápidamente esta tecnología binaural sucumbió nuevamente.

Esta tecnología se mantuvo evolucionando en menor nivel, debido al precio del equipo especializado para la grabación y la reproducción. Antes de la era del walkman, usar audífonos se consideraba una incomodidad, y los compradores estaban interesados únicamente en grabaciones que se pudieran reproducir en un equipo casero o en sus automóviles.

## **1.2 Justificación**

Este estudio beneficia a la comunidad ecuatoriana interesada en el tema de microfonía binaural, ya que establece bases para la construcción del modelo. El mismo que puede ser usado con fines técnicos, docentes y laborales; y utilizado en aplicaciones de audio profesional, así como también, en control de ruido para mediciones laborales, donde se necesite datos del lugar donde un obrero se encuentra trabajando.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Evaluar a un modelo de cabeza y torso humano o *dummy head* en términos de la captación de sonido mediante técnicas de microfonía binaural, comparándola con la captación obtenida en una cabeza humana real.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir un modelo de canal auditivo, cráneo y torso humano basados en medidas reales.
- Obtener la respuesta de frecuencia de los micrófonos fuera del *dummy head* y la cabeza humana real, mediante la medición desde diferentes ángulos de incidencia en el plano horizontal.
- Obtener la respuesta de frecuencia de los micrófonos dentro del *dummy head* y la cabeza humana real, mediante la medición de éstos desde diferentes ángulos de incidencia en el plano horizontal.
- Comparar las curvas de respuesta de frecuencia, para así cuantitativamente, obtener un resultado de cuán cierta es la curva de los micrófonos dentro del *dummy head* respecto a la cabeza humana real.

## 1.4 Hipótesis

Se asume como hipótesis del presente trabajo que las imágenes sonoras entregadas por medio de un par de micrófonos implementados dentro de un *dummy head*, entregan una respuesta más cercana a la percibida en términos de frecuencia y direccionalidad dentro de una cabeza real, que solamente teniendo los micrófonos sin ninguna barrera ante la señal proveniente de una fuente.

## CAPÍTULO 2

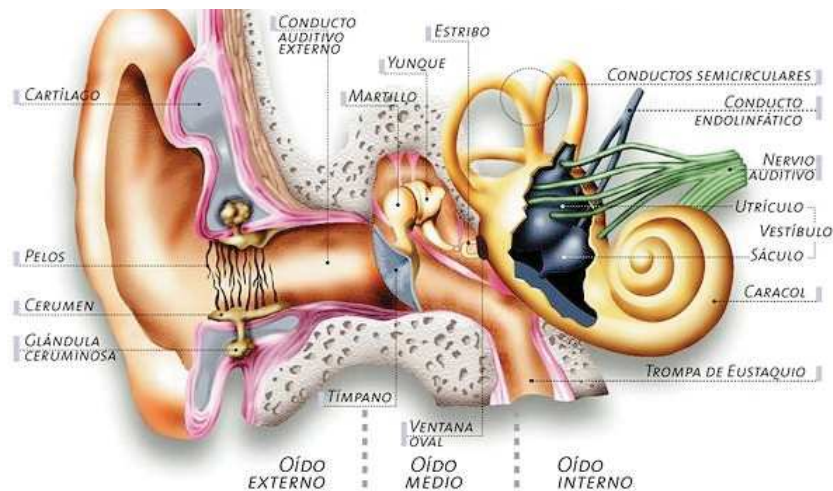
### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Fisiología de la audición humana [1]

El oído, que contiene a uno de los cinco sentidos del sistema sensorial: la audición; tiene la capacidad de transformar variaciones de presión en el aire a impulsos mecánicos y de éstos a impulsos eléctricos, lo que permite percibir el nivel, tono, timbre y dirección de la cual provienen los sonidos. Pero además de poseer este sentido, el oído es el órgano encargado del control del equilibrio, el cual permite conocer en qué posición se encuentra el cuerpo a cada momento, para así mantenerlo en posición erguida.

##### 2.1.1 Estudio del funcionamiento del oído humano

Para un correcto estudio del oído y sus partes es preciso dividirlo en tres partes: oído externo, oído medio y oído interno.



*Fig. 2.1.- Estructura y partes del oído humano. [10]*



### **2.1.1.1 Oído externo [11] [13]**

Este está formado por el pabellón auricular, el conducto auditivo exterior y la membrana timpánica. El pabellón auricular está conformado por cartílago elástico recubierto por piel blanda, esta piel posee abundantes glándulas sebáceas productoras de cerumen (cera). En su parte media posee una estructura cartilaginosa con fibras de músculo estriado que se comunican con el conducto auditivo exterior, dándole firmeza y apoyo, así como cierta capacidad de movimiento. El conducto auditivo exterior se extiende desde el pabellón hasta el tímpano. Este conducto mide en el ser humano un promedio de alrededor de 2.5 cm de largo. Está compuesto de cartílago elástico, tejido óseo y piel blanda. También se presentan vellosidades fácilmente irritables, las cuales alertan de la entrada de un objeto extraño. Justo en la piel, se localizan glándulas ceruminosas, siendo las responsables de la producción de cerumen, que tiene por función proteger al oído de agentes extraños, como el polvo, agentes parásitos, virulentos y de ciertos agentes bacterianos; y evitar la lesión de la piel blanda del canal auditivo.

La membrana timpánica, también denominada tímpano, es una porción fina y semitransparente de tejido conectivo fibroso, que se encuentra entre el conducto auditivo externo y el oído medio.

### **2.1.1.2 Oído medio [12] [14]**

El oído medio comprende:

- La caja timpánica.
- Los huesecillos del oído.
- Los músculos de los huesecillos.
- La trompa de Eustaquio.

#### **2.1.1.2.1 Caja timpánica**

La caja timpánica es un espacio aproximadamente oblongo (como una lente bicóncava), recubierto completamente por mucosa. Esta pequeña cavidad

está llena de aire, y gracias a la trompa de Eustaquio, se comunica con las fosas nasales, permitiendo que la presión de aire contenido en la caja timpánica sea la misma que la del aire exterior. Además, se comunica con el oído interno mediante dos aberturas provistas de una fina membrana: la Ventana Oval y la Ventana Redonda.

La Trompa de Eustaquio cuenta con paredes o caras, que están ordenadamente apiladas unas sobre otras y al realizar el acto de deglución se separan para permitir que se iguale la presión entre el oído medio y el exterior. La caja consta de seis caras o paredes (techo, suelo y cuatro paredes).

#### **2.1.1.2.2 Huesecillos del oído**

El oído medio cuenta con 3 huesecillos: Martillo, Yunque y Estribo. Tienen como objetivo conectar la membrana timpánica con la ventana oval, siendo éstos el medio normal para la transmisión del sonido a través del oído medio. Estos huesecillos son los más pequeños del cuerpo, con un peso muy pequeño: Martillo (22-24 mg), Yunque (25 mg) y Estribo (2 mg).

Los huesecillos del oído forman una cadena en la cavidad timpánica que va desde la membrana timpánica hasta la ventana oval. Los huesecillos son los primeros huesos que se osifican por completo durante el desarrollo, y al nacer se encuentran casi maduros. El martillo se inserta en la membrana timpánica y el estribo ocupa la ventana oval. El yunque está situado entre ambos huesecillos y se articula con ellos, esto lo convierte en el hueso más débil de la cadena, ya que no posee un músculo o nervio de sostén. Estos pequeños huesos están recubiertos de la mucosa que reviste la cavidad timpánica.

##### **2.1.1.2.2.1 Funcionamiento de la cadena de huesecillos**

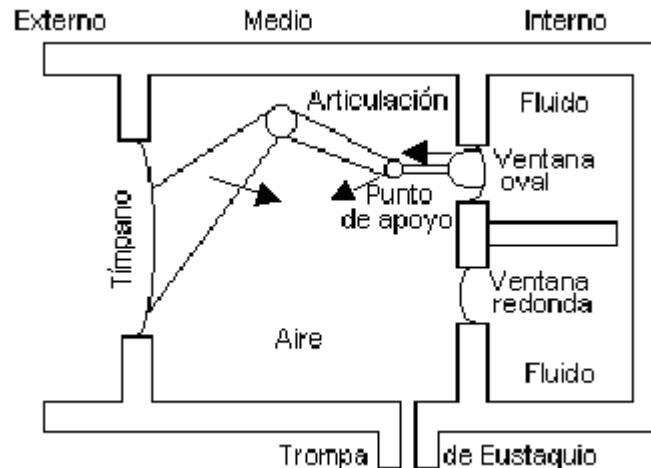
El funcionamiento de esta cadena se inicia a partir del martillo. El martillo posee cabeza, cuello y mango, así como una apófisis corta. El martillo a través de su mango se halla unido a la membrana timpánica. De él parten los ligamentos timpanomaleolares anterior y posterior, que dividen a la membrana

timpánica en pars flácida y pars tensa. La pars flácida tiene 2 capas: epitelial y endotelial; mientras que la pars tensa tiene 3 capas: epitelial, fibrosa y endotelial.

El martillo, en su extremo opuesto, se une firmemente con el yunque. De manera que, siempre que el martillo se mueve, el yunque se mueve en la misma forma, intensidad y dirección. La cabeza del martillo se articula con el cuerpo del yunque (sinartrosis), y éste a través de su apófisis larga se articula con la cabeza del estribo. Al mismo tiempo, la platina del estribo se inserta en la ventana oval y estimula a los líquidos perilaberínticos dentro de la cóclea en el proceso de la audición.

El otro extremo del yunque se articula con el "tallo" del estribo y la base del estribo se apoya en la abertura de la ventana oval, donde los sonidos son transmitidos al oído interno. La articulación del yunque con el estribo hace que éste último gire hacia afuera cada vez que el mango del martillo se mueve hacia dentro, y hacia adentro cada vez que el martillo va hacia afuera, lo cual provoca el desplazamiento hacia dentro y hacia fuera de la base del estribo al nivel de la ventana oval, produciéndose un movimiento en el fluido coclear del oído interno.

Todo sistema vibrante que tiene inercia y un componente elástico, también tiene una frecuencia de resonancia en la cual puede vibrar más fácilmente. Esta es la que recibe el nombre de frecuencia natural. Como el sistema de huesecillos tiene inercia, y como se halla suspendido de ligamentos elásticos, tiene una frecuencia de resonancia natural que varía desde 700 a 1400 Hz. Como ya se dijo, el Canal Auditivo Externo posee también una frecuencia resonante alrededor de los 3,15 kHz. Combinando los efectos de resonancia del sistema de huesecillos y del Canal Auditivo Externo, la transmisión del sonido desde el aire al caracol resulta excelente entre límites de 600 y 6 kHz, pero disminuye netamente por encima o por debajo de estas frecuencias.



*Fig. 2.2 - Modelo mecánico de transmisión entre el oído externo al interno. [15]*

Existe una impedancia muy alta al cambiar de medio de propagación de una onda, en este caso del aire al líquido, la atenuación producida por este cambio es de alrededor de 30 dB, es por esto que los huesecillos del oído tienen la función de amplificar la onda proveniente del tímpano, estos amplifican la onda de 15 a 20 veces su intensidad original, lo que entrega una ganancia de 25 dB aproximadamente, lo que muestra una ineficiencia del oído humano de alrededor de 5 dB.

#### **2.1.1.2.3 Los músculos asociados con los huesecillos del oído**

Existen dos músculos asociados a los huesecillos del oído, que amortiguan los movimientos de los huesecillos del oído. Uno de ellos amortigua además, los movimientos (vibración) de la membrana timpánica. Estos músculos son:

- El músculo del estribo o músculo estapedio: Lo atraviesa un nervio llamado nervio facial o par craneano.
- El músculo tensor del tímpano o músculo del martillo: Lo atraviesa un nervio proveniente del ganglio ótico.

Estos dos músculos, protegen al oído interno de los ruidos intensos y súbitos que pueden causar lesiones.

El músculo tensor del tímpano, junto con otros ligamentos y tensores, atrae constantemente hacia adentro el mango del martillo. Gracias a este músculo, y junto con la ayuda del músculo del estribo en contacto con la cabeza del estribo, se mueve la cadena de huesecillos; y además, proveen de tensión a la membrana timpánica, permitiendo que las vibraciones sonoras en cualquier porción del tímpano sean transmitidas al martillo.

Los músculos se activan en forma refleja ante los sonidos (60 a 80 decibeles) y aparentemente por algunos otros estímulos sensoriales; el tiempo de reacción de este reflejo es de aproximadamente 10 milisegundos, lo que significa que, ante sonidos de gran intensidad y poca duración (impulsivos), los músculos tensores no alcanzan a reaccionar y por ende proteger a la cóclea, causando peligro de pérdida auditiva.

El músculo tensor del tímpano tira del mango del martillo hacia adentro, mientras que el músculo del estribo tira de este hueso hacia fuera. Cuando estas dos fuerzas se oponen entre sí, permiten que todo el sistema de huesecillos tenga mucha rigidez, disminuyendo considerablemente la transmisión de las frecuencias bajas (inferiores a 1000 Hz) al oído interno. El reflejo de atenuación puede disminuir la intensidad de transmisión de sonido hasta 30 o 40 dB. La función de este mecanismo se basa, en parte, en permitir la adaptación del oído a sonidos de intensidades diferentes, pero sobre todo en proteger al caracol de lesiones por ruidos excesivamente intensos. Además, cuando una persona habla, manda señales colaterales a los músculos del oído para disminuir su sensibilidad auditiva, de manera que su propia palabra no estimule en exceso los mecanismos de audición.

#### **2.1.1.2.4 La trompa de Eustaquio o trompa auditiva**

La trompa de Eustaquio o conducto faringotimpánico conecta la nasofaringe con la caja timpánica. Tiene dos porciones, la interna o cartilaginosa (24 mm de longitud) y la externa u ósea (12 mm de longitud).

La misión de la trompa auditiva consiste en igualar la presión del oído medio con la atmosférica, para que la membrana timpánica se mueva sin problemas. Al dejar que el aire entre y salga de la cavidad timpánica, esta trompa equilibra la presión a ambos lados del tímpano. Como los músculos de la trompa auditiva pertenecen al paladar blando, la igualación de presiones es algo común en actos como el bostezo y la deglución.

### 2.1.1.3 Oído interno [2] [19]

El oído interno o laberinto se encuentra dentro del hueso temporal. Puede dividirse morfológicamente en laberinto óseo y laberinto membranoso. El laberinto óseo es la cápsula ósea que rodea al laberinto membranoso, y éste último consiste en un sistema hueco que contiene la endolinfa. En el oído interno, se realiza la transformación de la energía mecánica producida por las ondas sonoras en impulsos eléctricos. Esta transformación se realiza a través de los órganos de Corti. Comprende las siguientes estructuras: el vestíbulo, los canales semicirculares, el caracol o cóclea, cóclea ósea, cóclea membranosa u órgano de Corti, células ciliadas.

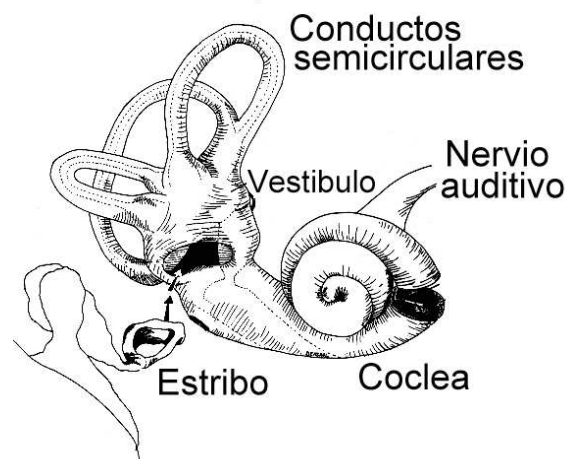


Fig. 2.3 - El oído interno. [16]

### **2.1.1.3.1 El vestíbulo**

Es la región media del oído interno, pues tiene en un extremo al caracol y en el otro los canales semicirculares. Un estrechamiento lo divide en dos partes: el utrículo y el sáculo. El utrículo está en comunicación con los canales semicirculares, y el sáculo se comunica con el caracol.

### **2.1.1.3.2 Los canales semicirculares**

Los canales semicirculares son tres tubitos arqueados en semicírculos, implantados en el vestíbulo y situados en tres planos rectangulares, según las tres dimensiones del espacio. Los canales semicirculares nos dan la noción del espacio y, por lo tanto, contribuyen al mantenimiento del equilibrio de la cabeza y del cuerpo.

### **2.1.1.3.3 El caracol o cóclea**

El caracol, llamado también cóclea, es un órgano en forma de tubo enrollado que rodea un eje central llamado colúmena. Posee tres cavidades longitudinales llamadas rampas (rampa timpánica, rampa vestibular y rampa coclear), separadas por dos membranas llamadas membrana basilar y membrana de Reissner.

Es un sistema de tubos enrollados: son tres tubos diferentes, uno al lado del otro, denominados rampa vestibular, rampa media y rampa timpánica. La rampa vestibular y media se hallan separadas entre sí por la membrana vestibular; la rampa timpánica y la rampa media se hallan separadas por la membrana basilar. En la superficie de la membrana basilar se halla una estructura, el órgano de Corti, que contiene una serie de células mecánicamente sensibles, las células ciliadas. La rampa vestibular y la rampa timpánica se encuentran llenas de perilinfa, ésta es rica en sodio y pobre en proteínas. La rampa media contiene endolinfa. La rampa vestibular se relaciona

con la ventana oval mediante el vestíbulo y la rampa timpánica limita con la ventana redonda. Ambos conductos comunican abiertamente en el vértice del caracol o helicotrema. Las células ciliadas sostenidas por las células de Deiters están dispuestas angularmente y con sus extremos alcanzan la membrana tectoria de tipo gelatinoso y que está extendida sobre las células ciliadas.

La membrana vestibular es tan delgada, que no dificulta el paso de las vibraciones sonoras desde la rampa vestibular a la rampa media. Por lo tanto, en cuanto a transmisión del sonido, la rampa vestibular y media se consideran como una única cámara. La importancia de la membrana vestibular depende de que conserve la endolinfa en la rampa media, necesaria para el normal funcionamiento de las células ciliadas.

#### **2.1.1.3.4 Cóclea ósea**

La cóclea ósea es un tubo ligeramente cónico enrollado sobre sí mismo en 2 1/2 vueltas, de aspecto muy similar al de un caracol, su longitud total aproximadamente es de 32 - 35 mm. La parte interna de éste tubo, sobre la cual se sostiene toda la estructura, es una lámina ósea denominada colúmena.

#### **2.1.1.3.5 Cóclea Membranosa u Órgano de Corti**

El órgano de Corti fue descrito por primera vez por Corti en 1851. Está formado por células de soporte, las células ciliadas sensoriales, la membrana tectoria, y las fibras nerviosas. El soporte está constituido por los pilares y las células de Deiters, Hensen y Claudius. Los pilares son células de forma piramidal, con gran cantidad de filamentos de soporte, dispuestas en 2 filas y unidas en su parte superior, formando el túnel de Corti. Estas células de sostén, sobre todo las de los pilares y las de Deiters, contribuyen a formar la membrana reticular, que se extiende en la parte superior del órgano de Corti por los espacios existentes entre las porciones apicales de las células ciliadas



externas. La membrana reticular constituye una barrera entre la endolinfa que baña la superficie del órgano de Corti y sus espacios extra celulares interiores.

#### **2.1.1.3.6 Células Ciliadas**

Las células ciliadas se dividen en dos tipos, externas e internas. Las primeras están por fuera de los pilares de Corti en tres filas paralelas. Estas células externas no presentan estructuras propias de sostén; mantienen su forma y posición gracias al apoyo de las células vecinas. Su número aproximado es de 30.000.

Las células ciliadas internas presentan cierta forma de botella, con un estrecho cuello que termina en la superficie portadora de los cilios. Existen unas 3500, dispuestas en una sola fila, en el interior de los pilares, y soportan unos 60 estereocilios cada una.

## **2.2 Percepción psicoacústica**

La psicoacústica es el estudio de la respuesta psicológica a un estímulo físico sonoro, en donde el cerebro analiza las diferentes propiedades del sonido (tono, timbre, intensidad) y las transforma en un mensaje con reacciones físicas-mentales y corporales. La Psicoacústica es una rama de la Psicofísica, la misma que se ocupa del análisis de la relación entre los estímulos físicos del ambiente y la reacción que éstos producen en una persona, tanto objetiva como subjetivamente.

Cuando se escucha un sonido, se percibe diferentes estímulos que:

- Permiten diferenciar entre sonidos graves y agudos, esto se lo hace en un rango específico de frecuencias comprendidos entre los 20 Hz hasta 20 kHz (rango de audición).

- Permiten diferenciar el nivel de presión sonora, es decir sonidos débiles de fuertes, pero la percepción del nivel de volumen no sólo depende de la presión sonora, sino también de la frecuencia.
- Permite distinguir sonidos de diversas fuentes sonoras, así estos se encuentren en un mismo rango de frecuencias o con una misma intensidad sonora.

Otro de los factores que estudia la Psicoacústica es la localización auditiva, la percepción del movimiento del sonido en un eje de coordenadas horizontales, verticales y de profundidad.

### **2.2.1 Límites de la audición**

El ser humano tiene un rango de escucha limitado, comparado con el de algunos mamíferos. Pero el ser humano se ha adaptado perfectamente a estas limitaciones, siendo así que en las frecuencias donde el oído es más sensible, es donde se desarrollaron justamente las frecuencias del habla. Estas están alrededor de las frecuencias de resonancia del oído externo y medio, que van desde 600 Hz a 6 kHz.

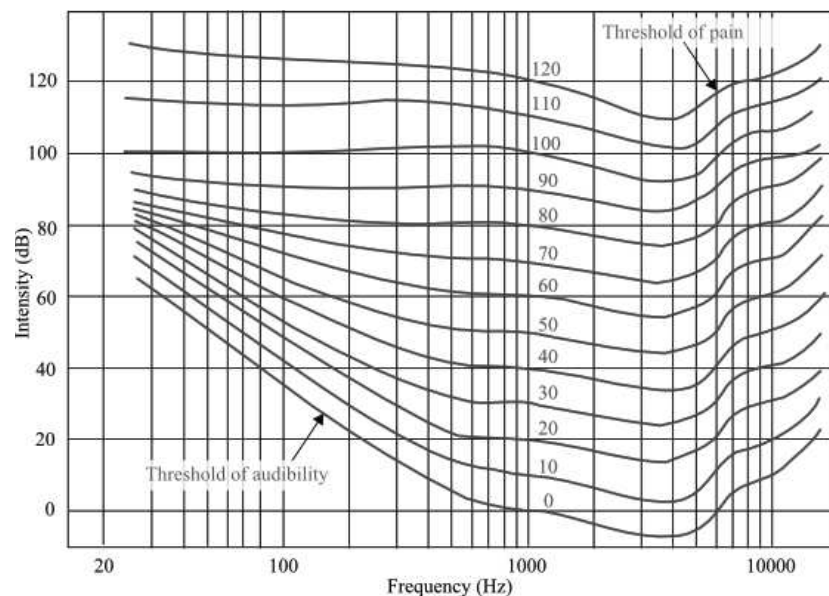
A pesar que el rango de escucha óptima cubre poco espectro, este se extiende ampliamente con deficiencias mientras más se aleja de la frecuencia central (1 kHz). Este rango de frecuencias abarca desde los 20 Hz hasta los 20 kHz, aunque la mayoría de personas no lleguen a escuchar debajo de los 30 Hz y por encima de los 17 kHz. Esto se debe al poco cuidado que se tiene de la salud del oído y a la sobre-exposición a niveles perjudiciales.

La cóclea posee células ciliadas a todo su largo, cada porción de la cóclea vibra en determinada frecuencia (según su ancho), permitiendo escuchar las diferentes frecuencias. Cuando se deja de escuchar una frecuencia es debido a que las células ciliadas mueren en determinada posición de la cóclea, por lo general se empieza la pérdida por las frecuencias más agudas, haciendo que se recorte el espectro audible, las personas empiezan a dejar de escuchar

sonidos en los cuales prevalecen las frecuencias altas, como por ejemplo timbres de teléfonos y casas.

### 2.2.2 Curvas de isofonía de Fletcher & Munson [3]

Estas curvas calculan la relación existente entre la frecuencia y la intensidad (dB), para que sean percibidas las frecuencias con igual intensidad por nuestro cerebro. Su unidad es el Fon, misma que es equivalente a los dB pero solamente en 1 kHz.



*Fig. 2.4 - Curvas de isofonía de Fletcher & Munson. [17]*

Se debe tener en cuenta el nivel sonoro que percibe el cerebro para cada frecuencia, pues aunque el nivel de presión sonora entregado por un equipo o fuente sea constante en todo el rango audible, no lo es para el cerebro. Las curvas isofónicas son representaciones del nivel de presión sonora necesario para que cada frecuencia se perciba con una misma sonoridad para el cerebro; estas curvas muestran que a bajas y altas frecuencias, el cerebro precisa más nivel sonoro real que en las frecuencias centrales para percibirlos con el mismo nivel. Además, se observa en las curvas isofónicas que, a mayor presión

sonora, la diferencia de nivel sonoro necesario para percibir al mismo nivel las diferentes frecuencias se hace más pequeña, por lo que también hay que tomar en cuenta que la respuesta de frecuencia percibida por el cerebro cambia dependiendo del nivel de la señal.

Estas curvas son válidas únicamente en condiciones de campo sonoro directo, es decir sin reflexiones externas, como por ejemplo de paredes; ya que las condiciones de escucha cambian según la dirección del sonido.

### **2.2.3 Efecto de enmascaramiento [4]**

Al estar el oído expuesto a dos o más sonidos simultáneamente, existe la posibilidad de que uno enmascare a otro, se puede definir como un efecto producido en la percepción sonora cuando al mismo tiempo se escucha dos o más sonidos de diferente intensidad, pero provenientes del mismo punto en el espacio, el que posea mayor nivel será el que el cerebro procese, actuando de esta forma como enmascarador. Esto se produce con sonidos cercanos en frecuencia.

Es por esto que, en grabaciones musicales, se intenta siempre tener un espacio independiente para cada instrumento que participe, de esta forma no existirá enmascaramiento y se escuchará de forma clara a cada instrumento. Esto es válido en mezclas a partir de la estéreo, es decir de dos canales (L, R), donde intervengan los tres ejes: horizontal, vertical y profundidad; ya que en mono no es posible el posicionamiento.

Pero también es preciso tener en cuenta el tiempo en el que los sonidos se suscitan, por ejemplo, contando con la presencia de un sonido débil, sin importar su frecuencia, como la caída de una gota de agua, puede aparecer un sonido con mucha más amplitud, (ladrado de un perro), y enmascararlo temporalmente hasta que desaparezca y sea audible de nuevo el sonido débil. Esto es mejor explicado con los efectos de pre-enmascaramiento y post enmascaramiento. Para entender al pre-enmascaramiento, es preciso

comprender que los sonidos no aparecen de forma instantánea, y requieren de un tiempo para llegar a su nivel, en este proceso de incremento de nivel, el cual debería ser menor a 20 ms, el sonido es capaz de enmascarar a otro, su relación es dada por tiempo más que por nivel. Lo mismo sucede con el post-enmascaramiento, una vez que un sonido deja de ser emitido por su fuente, existe un tiempo de relajación, en donde decae de su máximo nivel hasta extinguirse, y si otro sonido se suscita durante este tiempo, resultará enmascarado; los sonidos que poseen un nivel elevado requieren un corto tiempo para aparecer y extinguirse, en cambio los sonidos de bajo nivel pueden tomar un mayor tiempo para esto.

#### **2.2.4 Frecuencias fantasmas**

Con el nombre de frecuencia fantasma, se conoce a un fenómeno que se da cuando una frecuencia aparece dentro del espectro sin que exista ninguna fuente que la esté produciendo. Esto se debe a la interacción de algunas frecuencias, sean superiores o inferiores, esto es por la suma de armónicos múltiplos de éstas, haciendo que el oyente perciba sonidos que no son emitidos por ninguna fuente. Esto se da especialmente en ambientes ruidosos.

Las frecuencias fantasmas aparecen también en procesos de muestreo en audio digital. El momento que se requiere muestrear una señal, se debe asegurar que el contenido espectral de ésta no supere a la mitad de la frecuencia de muestreo ( $f_{max}/2$ ), es decir, en el caso de la audición humana, para grabar un sonido a 44,1 kHz (calidad de CD) y después poderlo reproducir de forma fiel a la grabación, se tiene que filtrar el contenido superior a 22,05 kHz, caso contrario el momento de convertir esa señal digital en analógica otra vez, aparecerán componentes que no existían al momento de la conversión analógica digital.

## **2.3 Especificaciones de micrófonos**

Las especificaciones técnicas de los micrófonos permiten conocer su forma de captar el sonido: dirección y curva de respuesta de frecuencia. También, la forma en la cual éstos lo transforman de energía acústica a energía eléctrica, y la cantidad de energía eléctrica que el micrófono entrega en presencia de cierto nivel de presión sonora.

### **2.3.1 Principios de transducción**

A los micrófonos se los clasifica en dos grandes grupos por su tipo de transducción:

- Transducción mecano-acústica.
  - Micrófonos de presión.
  - Micrófonos de gradiente de presión.
  - Micrófonos combinación de presión y gradiente de presión.
- Transducción electro-mecánica.
  - Micrófonos electro-resistivos (carbón).
  - Micrófonos electro-magnéticos (bobina móvil, cinta).
  - Micrófonos electro-estáticos (condensador, electret, piezoeléctricos).

#### **2.3.1.1 Según la transducción mecano-acústica**

##### **2.3.1.1.1 Presión**

En este sistema solamente una cara del diafragma se expone directamente al campo sonoro, ya que se encuentra en un encierro; comunicándose con la presión exterior mediante un pequeño orificio, esto es con la función de proteger el diafragma de posibles rupturas por un frente de

onda muy fuerte, este orificio ayuda a un mejor e inmediato movimiento del diafragma. El diafragma capta la variación de presión sin importar de donde venga esta, lo que hace a estos micrófonos omnidireccionales.

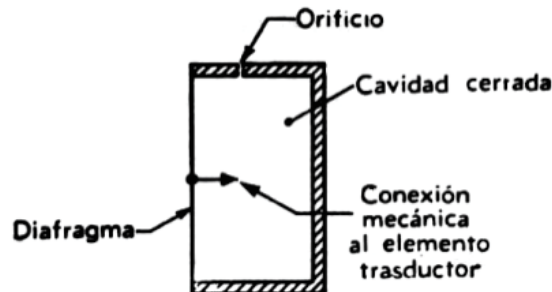


Fig. 2.5 – Diagrama de los micrófonos de presión. [18]

### 2.3.1.1.2 Gradiente de presión

En este sistema, las dos caras del diafragma se exponen al campo sonoro, de esta forma el movimiento resultante será la función del diferencial de las presiones frontal y posterior. Es decir, si un sonido incidiera de forma completamente paralela al diafragma, las presiones serían iguales tanto en la cara frontal como en la posterior, lo que daría como resultado la anulación del sonido. Se los conoce como bidireccionales o figura ocho.

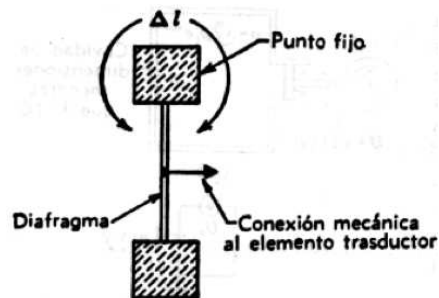
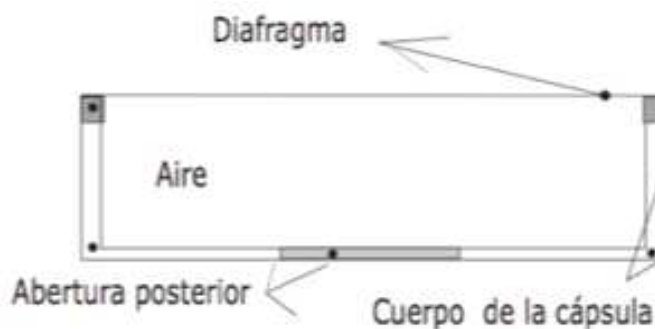


Fig. 2.6 - Diagrama de los micrófonos de gradiente de presión. [18]

### 2.3.1.1.3 Combinación de gradiente de presión y presión [9]

La combinación de estos dos tipos de micrófonos trae como resultado una gama de posibilidades nuevas para obtener, como por ejemplo los micrófonos cardioides (direccionales), supercardioides e hipercardioides, esto se logra gracias a la ranura en la parte posterior la cual actúa como masa acústica, retardando la llegada del frente de onda al diafragma, lo que deriva en

una cancelación del frente de onda, dependiendo de donde proviene este en el espacio. Estos micrófonos permiten especializar la captación, lo cual es muy conveniente en aplicaciones de refuerzo sonoro, donde se busca únicamente captar el sonido proveniente de la fuente, otro ejemplo sería microfonear una batería, donde se busca aislar sonidos de fuentes cercanas como por ejemplo el sonido de un tom a otro tom.



*Fig. 2.7 - Diagrama de micrófonos combinación de presión gradiente de presión. [26]*

### 2.3.1.2 Según la transducción electro-mecánica

#### 2.3.1.2.1 Micrófonos electro-resistivos

Estos micrófonos poseen un material electro-resistivo, el mismo que reacciona a la presión sometida sobre él, causando variaciones en su resistencia, lo que provoca una variación de potencial en los terminales de salida del micrófono.

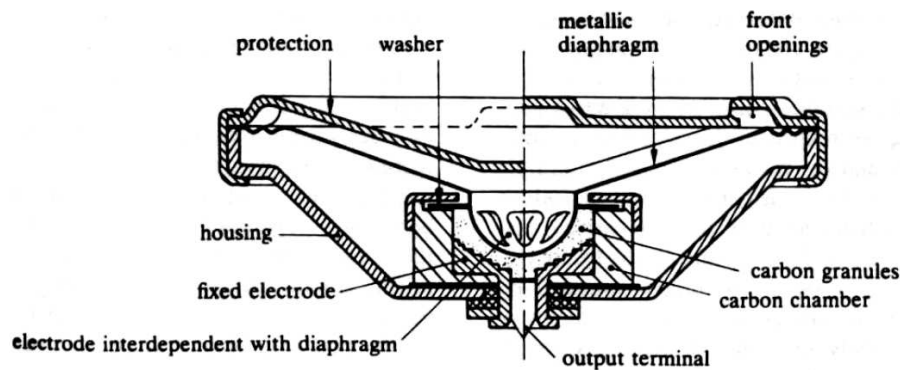
##### 2.3.1.2.1.1 Micrófonos de carbón

Está compuesto por una cápsula metálica rellena de gránulos de carbón, cubierta por un diafragma de aluminio. Es un dispositivo de presión, que transduce de las variaciones de la resistencia de contacto entre gránulos de carbón (que se comprimen o expanden bajo la acción de la presión sonora), en variaciones de voltaje a su salida.

Se caracterizan por tener una alta sensibilidad, lo que les permite prescindir de preamplificador. Tienen un reducido rango de frecuencia, lo que los hizo



populares en los teléfonos antiguos. Estos tenían una vida corta, ya que los gránulos de carbón se compactaban con facilidad, haciendo que la variación de resistencia sea casi nula, por lo tanto, la diferencia de voltaje lo era de igual manera.



*Fig. 2.8 – Corte de un micrófono de carbón.*

### **2.3.1.2.2 Micrófonos electro-magnéticos**

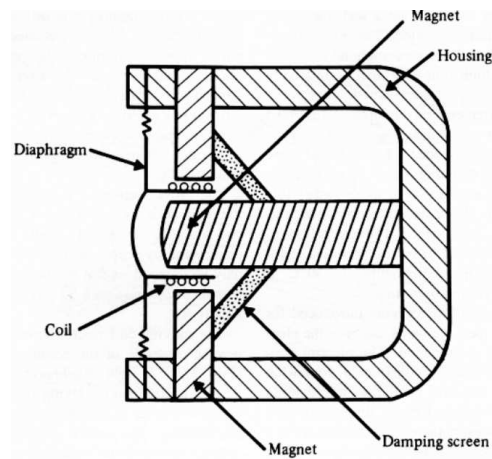
Estos micrófonos utilizan un imán permanente, y un material conductor eléctrico en medio de éste; el movimiento del material conductor es producto de la presión sonora, esto sucede debido al desplazamiento del diafragma, ya que éste se encuentra unido mecánicamente al material conductor. Con el desplazamiento del material conductor se rompen las líneas de fuerza del campo magnético induciendo la generación de corriente eléctrica, mientras mayor sea la cantidad de material conductor mayor será la corriente eléctrica resultante.

#### **2.3.1.2.2.1 Micrófonos de bobina móvil**

En este tipo de micrófonos un imán permanente es envuelto en una bobina que acompaña el movimiento del diafragma. A mayor cantidad de vueltas, más tensión entregará la bobina, pero como ello implica mayor masa, se compensa utilizando imanes muy potentes, como el neodimio. El conjunto bobina-imán se suele montar en una superficie de goma para reducir la

transmisión de vibraciones del cuerpo del micrófono. Sus impedancias varían entre 150 y 600  $\Omega$ . [10]

Se caracterizan por su construcción robusta y su gran tamaño, por su posibilidad de varios diagramas de captación, ser sensibles a inducciones electromagnéticas externas, una baja impedancia de salida, y por no tener ruido interno.



*Fig. 2.9 – Corte de un micrófono de bobina móvil.*

#### **2.3.1.2.2.2 Micrófonos de cinta**

Este tipo de micrófono está compuesto por una cinta de celulosa recubierta de material metálico, la misma que actúa como diafragma. Está situada entre los polos de un imán permanente. Al incidir un frente de onda sobre sus caras, provocará un movimiento, el mismo que inducirá un potencial sobre el conductor metálico.

El micrófono de cinta está clasificado como de gradiente de presión, debido a que el movimiento de ésta es el resultado del diferencial de presión entre las caras frontal y posterior del diafragma. Ambas caras de la cinta se hallan expuestas al campo sonoro, por lo que serán sensibles al sonido proveniente de ambas direcciones opuestas. Las ondas sonoras que incidan sobre la cara posterior producirán una señal eléctrica 180° en desfase respecto a la frontal. Las ondas sonoras que lleguen a 90° del eje axial de captación, darán por resultado una señal mínima de salida.

Estos micrófonos se caracterizan por tener pobre respuesta en agudos, una baja impedancia de salida, y un diafragma muy delicado que es susceptible a los niveles elevados, llegando incluso a su rompimiento.

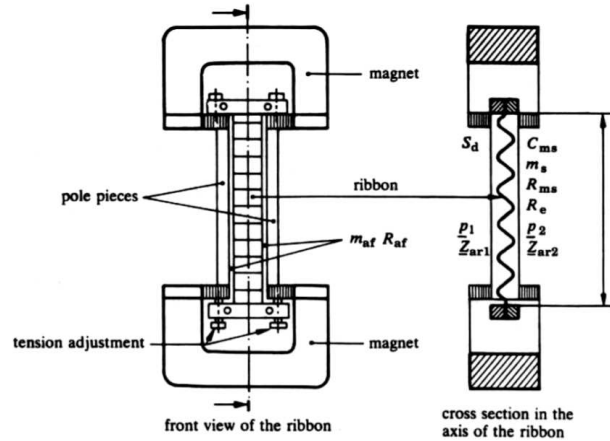


Fig. 2.10 – Corte de un micrófono de cinta.

### 2.3.1.2.3 Micrófonos electro-estáticos

Este tipo de micrófonos funcionan por el principio de dos placas polarizadas con diferente carga, una en frente de la otra paralelamente. Una de éstas es fija y la otra móvil, la móvil al reaccionar a la presión se desplaza reduciendo de esta forma el espacio entre las dos, lo que implica una reducción del material semiconductor que las separa, lo que produce una diferencia de potencial en la salida del circuito.

#### 2.3.1.2.3.1 Micrófonos de condensador

Este tipo de micrófonos utilizan como transductor un par de placas paralelas (electro-estáticamente cargadas) que conforman un condensador o capacitor eléctrico con dieléctrico de aire, es decir que entre las placas se encuentra solamente aire. Una de estas placas es móvil y la otra es fija por lo que transduce las variaciones de presión acústica en variaciones de longitud de dieléctrico; esto se refleja en variaciones relativas de la capacidad estática, por lo tanto, en variaciones de tensión entre placas. Estas variaciones luego son

amplificadas por una etapa de ganancia, obteniéndose así la señal de audio correspondiente al frente de onda.

Los micrófonos de condensador se caracterizan por tener un diafragma muy liviano, por lo tanto una mejor captación en frecuencias altas, una sensibilidad muy alta, por tener una excelente respuesta en frecuencia, por poseer ruido propio y porque requieren fuente externa, *Phantom Power* (48-52 VDC).

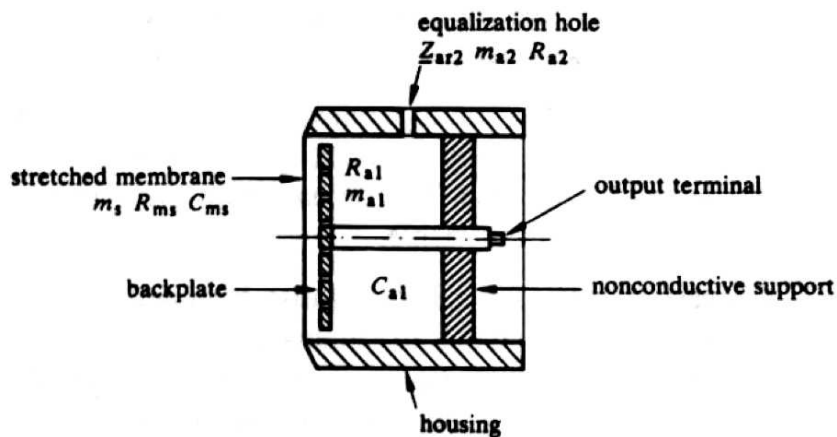


Fig. 2.11 – Corte de un micrófono de condensador.

#### 2.3.1.2.3.2 Micrófonos de electret

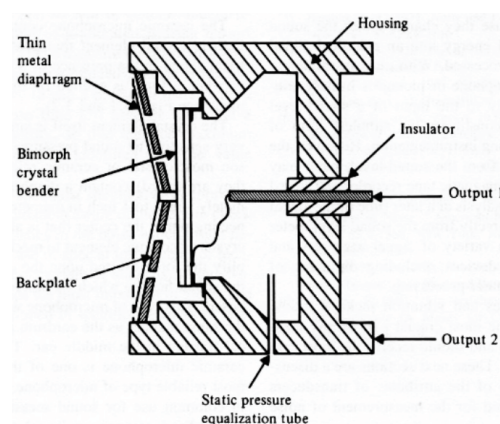
Estos micrófonos funcionan de igual manera que los micrófonos de condensador, con la única diferencia que no necesitan *Phantom Power* para polarizar sus placas, ya que una de éstas, está permanentemente polarizada. Esto se debe a que este material una vez que es polarizado retiene al magnetismo inducido en el mismo. Estos micrófonos utilizan el *phantom power* para el funcionamiento del circuito que alimenta el micrófono.

#### 2.3.1.2.3.3 Micrófonos piezoeléctricos

Su funcionamiento es mediante dos placas paralelas de material piezoeléctrico, que conforman a un condensador de placas paralelas, de modo de producir una diferencia de potencial al deformarse estas.

Se caracterizan por su alta impedancia, y por su poca resistencia a la temperatura y la humedad elevada.

Su principal uso es como micrófonos de contacto, para transmitir sonidos de carácter impulsivo, como por ejemplo, micrófonos de gatillo o trigger; los cuales envían su señal a un cerebro de computador, que al recibir una señal “gatillea” sonidos previamente grabados en su memoria. Son ideales para este propósito, ya que al reaccionar solamente al contacto, permanecen cerrados el resto del tiempo.



*Fig. 2.12 – Corte de un micrófono piezoeléctrico.*

### 2.3.2 Sensibilidad de micrófono

Al hacer vibrar una membrana, ésta transforma la vibración en energía eléctrica. La sensibilidad es el voltaje que un micrófono es capaz de producir ante la presencia de una presión sonora determinada, 1 Pa, en presencia de un tono de 1 kHz, en campo libre; la forma más común de denotar este parámetro es en mV/Pa, pero también se suele encontrar expresado en dB de voltaje como dBV/Pa, por ejemplo.

### 2.3.3 Patrón polar [5]

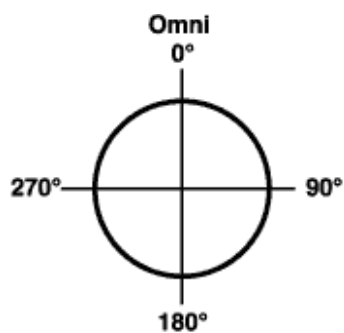
El patrón polar determina en qué direcciones un micrófono es más sensible, es decir dependiendo del proceder del frente de onda en el espacio, la captación será mayor o menor.

Algunas veces se usa el término direccionalidad para referirse al patrón polar, aunque esto no es del todo correcto, porque se estaría encasillando a varios tipos de micrófonos bajo un mismo nombre, por ejemplo unidireccional: se menciona a los cardioides, supercardioides e hipercardioides.

Los diagramas de patrón polar muestran la forma de captación del micrófono según su eje, siendo los  $0^\circ$  el eje acimutal del diafragma del micrófono.

### 2.3.3.1 Omnidireccional [8]

Este tipo de micrófono capta de forma uniforme en todas direcciones. Su aplicación se limita a grabación y mediciones, en donde se desea captar no solo al instrumento o sonido directo sino a todo el ambiente de la sala o recinto de grabación. La forma de conseguir este tipo de patrón de captación es mediante micrófonos de presión.



*Fig. 2.13 - Diagrama polar de micrófonos omnidireccionales. [8]*

### 2.3.3.2 Figura Ocho

Este micrófono presenta una captación tanto al frente del micrófono  $0^\circ$  como en su parte posterior, generalmente se logra este tipo de captación mediante la oposición de dos cápsulas, de esta forma se rechaza el sonido proveniente desde sus  $90^\circ$ . La aplicación de este tipo de micrófonos puede ser en una radio, al momento de tener una conversación entre dos personas. Así se capta el sonido de estas dos y se rechaza el ruido ambiente de las partes laterales. La forma de conseguir este tipo de patrón de captación es mediante micrófonos de gradiente de presión.

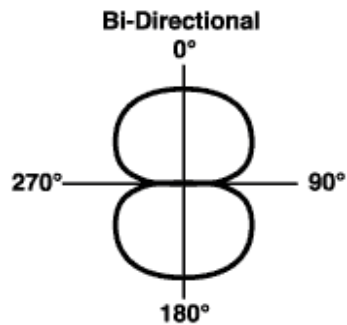


Fig. 2.14 - Diagrama polar de micrófonos bidireccionales. [8]

### 2.3.3.3 Cardioide, supercardioide e hipercardioide

Algo que tienen en común los patrones: cardioide, supercardioide e hipercardioide, es que tienen su mayor captación en la parte frontal de la capsula, lo que los hace apetecibles para aplicaciones de sonido en vivo, donde la mayoría de las veces se tiene al músico en la parte frontal y un monitor en la parte posterior, haciendo de esta forma que el rechazo al monitor facilite el trabajo; si el micrófono utilizado es cardioide, se tendría que colocar el monitor en frente del músico, ya que en la gráfica se aprecia que el mayor rechazo se encuentra en los 180°. Si el micrófono es supercardioide, se tendría que colocar dos monitores angulados a 120° aprox. Y por último si el micrófono es hipercardioide se tendría que colocar los monitores angulados a 150° aprox. para coincidir en la zona de menor captación. La forma de conseguir estos tipos de patrón de captación es mediante micrófonos de presión y gradiente de presión combinados entre sí.

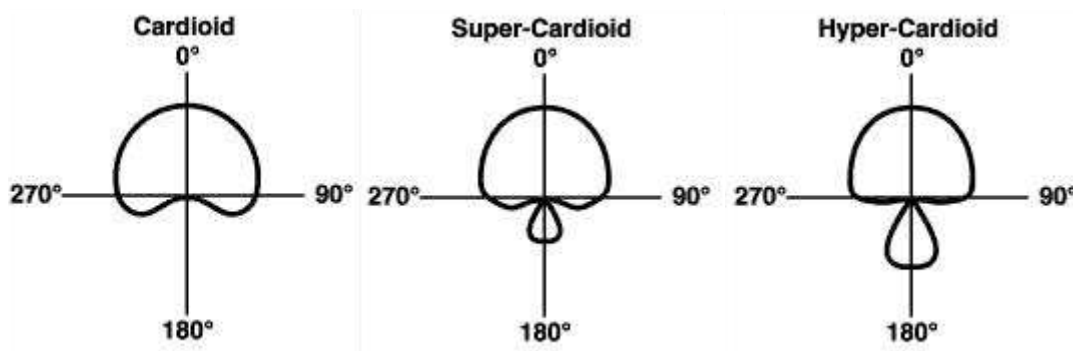


Fig. 2.15 - Diagramas polares de micrófonos cardioides, supercardioides e hipercardioide. [8]

### **2.3.4 Respuesta de frecuencia**

La respuesta de frecuencia se puede definir como la curva de ecualización natural de cada micrófono, es decir la forma que la capsula transforma la energía acústica a energía eléctrica. Esto puede ser utilizado a favor si se conoce cuál es la curva de cada micrófono así se evita una excesiva ecualización y se puede optimizar el rendimiento de estos (dentro de una tolerancia dada +/- 3 dB en micrófonos profesionales).

Por ejemplo para aplicaciones vocales sería útil que el micrófono tenga un aumento en las frecuencias desde 3 kHz a 5 kHz, ya que en estas frecuencias se encuentra la inteligibilidad de la palabra, un decremento en las frecuencias graves 60 Hz, ya que la voz no posee componentes muy graves; por lo tanto no se tendría que ecualizar demasiado el micrófono haciendo que el sonido sea más natural.

### **2.3.5 Impedancia**

La impedancia interna de un micrófono es debida a que éste es un dispositivo electrónico, y en base a una excitación eléctrica y el paso de corriente por él, se comportará como una resistencia. En las cartillas de especificaciones generalmente se expresa su impedancia nominal, considerando al micrófono como una resistencia pura, especificando su valor para una frecuencia de 1 kHz.

Los hay de alta impedancia (puede rondar los 10 k $\Omega$ ) y de baja impedancia (menores a 500  $\Omega$ ), prefiriéndose estos últimos en sonido profesional debido a que presentan menores niveles de ruido y mayor sensibilidad.

## **2.4 Grabaciones binaurales [6]**

La grabación binaural es un método de grabación, en donde se utiliza un arreglo especial de micrófonos para una posterior reproducción de esta señal



mediante audífonos. La grabación por *dummy head* se refiere a un método específico de capturar una señal; éste se lo realiza colocando los micrófonos dentro o fuera de un modelo de cabeza humana, para obtener una señal desde el punto de vista de direccionalidad y espacialidad, como si una persona estuviese en el mismo lugar del *dummy head*. Debido a que cada persona es única, y los huesos del cráneo y la construcción del oído no es la misma, algunas personas al escuchar desde los audífonos esta señal grabada con el modelo, pueden tender a confundir la procedencia del sonido, ya que el cerebro aprendió a ubicar la fuente en la niñez, con todas las variables únicas de construcción ósea de esa persona.

En la era moderna, se ha visto como una resurrección el interés por la tecnología binaural, específicamente en la comunidad adepta a los audífonos. Esto se debe de cierta forma, a la facilidad de acceso a audífonos y a que los métodos de grabación han reducido su costo en gran medida. Un pequeño grupo de personas, han construido sus propios sistemas de grabación, y han puesto a disposición una pequeña colección de discos en Internet, debido a que las grabaciones apetecidas con esta técnica no tienen un gran mercado; por ejemplo grabaciones de orquestas, grupos experimentales, jazz, y grabaciones ambientales para fines de post-producción.

#### **2.4.1 Micrófonos estéreo**

Los micrófonos estéreo no son más que dos micrófonos posicionados de acuerdo a técnicas de microfonía estéreo pero dentro de una misma carcasa, el fin de estos micrófonos es obtener rápidamente un posicionamiento ideal para de esta forma asegurar la captación del sonido sin cancelaciones, ni problemas de espacialidad.

Existen algunos tipos de micrófonos que permiten mover la angulación de cada capsula y también cambiar el patrón de captación lo que nos da una gran gama de posibilidades de captación entre estos dos, haciéndolos muy versátiles.

### **2.4.2 Tipos de grabaciones binaurales [7]**

Se ha sabido durante mucho tiempo que no es necesario tener múltiples canales para crear un efecto envolvente convincente. Dos canales son suficientes. El truco es recrear las condiciones sonoras en ambos oídos, como si el oyente se encontrara ahí mismo, en el lugar real. Es por esto que la técnica más usada para grabación binaural es colocar micrófonos dentro de una cabeza de maniquí separados a la misma distancia que los oídos humanos, pasando por modelos de oreja y canales auditivos. De esta forma las reflexiones de la sala y sombras acústicas causadas por el cráneo son captadas como si estuviera una persona en el lugar.

Otra opción es usar la cabeza de maniquí pero sin modelos de orejas o canales auditivos y colocar los micrófonos en la parte externa, con este tipo de microfonía no se graban las sombras acústicas producidas por el cráneo, y su reproducción es expandible a un sistema estéreo común debido a que al no tener sombras en la grabación la cabeza del oyente las produce.

### **2.4.3 Sistemas de reproducción [22]**

Para la técnica de captación de sonido binaural el único sistema de reproducción válido son los audífonos, debido a que el momento de captar el sonido ya se están recogiendo todas las variables físicas de un recinto, tanto como del cráneo humano. Es por esto que los altavoces no son una forma válida de reproducción para grabaciones binaurales ya que se estarían sumando sombras acústicas a las previamente grabadas, lo que resulta en la escucha de una señal alterada y ajena a la inicialmente capturada.

Existen distintos tipos de audífonos, los cuales se detallan a continuación.

### 2.4.3.1 Circumaurales

Conocidos como “cerrados” estos son aquellos audífonos que rodean completamente al pabellón auditivo y ofrecen aislamiento del ruido externo, su aplicación se concentra en el ámbito profesional, en situaciones de un alto nivel de ruido como por ejemplo monitoreo de escenario.



*Fig. 2.16 – Modelo de audífonos circumaural. [23]*

### 2.4.3.2 Supra-aurales

Conocidos como “abiertos” estos audífonos se colocan sobre el pabellón auditivo, no ofrecen ningún tipo de aislamiento, su aplicación se concentra en el uso doméstico.



*Fig. 2.17 – Modelo de audífonos supra-aurales. [24]*

### 2.4.3.3 Intra-aurales

Son aquellos que se colocan dentro del pabellón auditivo, permitiendo una mayor movilidad al usuario, los modelos comunes generalmente tienen un rendimiento menor comparado con los anteriores, pero existen modelos para uso profesional, los cuales poseen una respuesta muy buena, son conocidos

como *In-ear monitors*, y su función es la de aislar el ruido externo, tienen una forma parecida a tapones convencionales.



*Fig. 2.18 – Modelo de audífonos intra-aurales. [25]*

## **CAPÍTULO 3**

### **DESARROLLO**

#### **3.1 Metodología**

La metodología elegida para el presente trabajo de tesis está conformada por dos etapas, la primera considera a la metodología necesaria para la fabricación del modelo *dummy head*, mientras que la segunda considera a aquella necesaria para realizar una evaluación del modelo fabricado.

##### **3.1.1 Metodología para la fabricación**

###### **3.1.1.1 Selección de la microfonía**

Para la selección de los micrófonos es necesario entender el funcionamiento del oído humano y evaluar conjuntamente al oído medio e interno para comparar sus funciones con especificaciones técnicas de equipos disponibles.

###### **3.1.1.2 Selección de la sensibilidad**

La sensibilidad de los micrófonos a utilizarse en el *dummy head* no tiene que ser muy alta debido a la respuesta de este frente a transientes abruptas. Para entender mejor la selección de sensibilidad se puede poner como ejemplo a un micrófono muy sensible como el AKG 414 [Fig. 8.3] en el cual las transientes se captan de forma muy pronunciada, su sensibilidad es de -33 dBV; por otro lado un micrófono con una sensibilidad baja es el Shure SM57 [Fig. 8.4] la cual es de -54,5 dBV por lo tanto su respuesta a las transientes será baja, por lo que es utilizado ampliamente para instrumentos percusivos, lo óptimo en este caso sería encontrar un balance entre estos dos valores, para poder así emular al oído, que no es ni muy sensible ni poco sensible.

### **3.1.1.3 Selección de patrón polar**

Si se compara al oído humano con los diferentes tipos de transductores se puede llegar a concluir que el modelo que más se asemeja es el de presión, ya que en este sistema solamente una cara del diafragma se expone directamente al campo sonoro, debido a que se encuentra en un encierro; comunicándose con la presión exterior mediante un pequeño orificio; este orificio en el oído humano es denominado la trompa de Eustaquio, y mediante la deglución se equiparan las presiones; esto es con la función de proteger el diafragma de posibles rupturas por un frente de onda muy fuerte.

El patrón polar correspondiente a este tipo de micrófonos es omnidireccional, muy aparte de que los oídos se encuentren a cada lado de la cabeza y cada uno posea un canal y pabellón auditivo que restringe su captación a solamente un lado de la cabeza, lo que haría pensar que son cardioides, pero por medio de la comparación de principios de funcionamiento y con la ayuda gráfica de las Fig. 2.2 y Fig. 2.5, se puede observar que tanto el oído humano como el micrófono de presión poseen la característica de tener un espacio cerrado, que solamente expone una cara del diafragma a la presión exterior, y posee un pequeño agujero para equiparación de presiones con el fin de evitar la ruptura del diafragma. De esta forma se comprueba que el oído humano funciona bajo el principio de presión

### **3.1.1.4 Selección de respuesta de frecuencia**

Se conoce de la respuesta de frecuencia del oído humano solamente por los estudios de Fletcher & Munson [Fig.2.4], los cuales son basados en encuestas a personas, por lo que no son exactas, pero presentan una aproximación cercana, ya que cada persona por razones fisiológicas puede tener una curva ligeramente diferente y como son libres a interpretación estas son una aproximación subjetiva.

Esto en gran medida se debe a que el tímpano se encuentra al final del canal auditivo, el cual básicamente es un tubo, y el fenómeno que se produce al pasar un frente de onda a través de un tubo es un incremento en las frecuencias medias, la frecuencia central depende del largo del tubo, que en el caso de canal auditivo está alrededor de 3,15 kHz.

Por lo tanto, se deberá buscar un micrófono que tenga una respuesta lo más plana posible, para así, evitar incrementos no deseados y dejar que el canal auditivo haga el resto del trabajo en el decremento de frecuencias.

#### **3.1.1.5 Tamaño y diseño**

Tomando en cuenta el tamaño reducido de los tímpanos, y que la hipótesis se basa principalmente en la comparación de una cabeza humana real y la de un *dummy*, el micrófono debería ser lo suficientemente pequeño como para ingresar por el canal auditivo y así poder medir dentro y realizar una comparación objetiva.

#### **3.1.1.6 Selección de los materiales para los modelos de pabellón y canal auditivo**

El objetivo de la tesis es tener un modelo lo más cercano a la realidad, por lo que los modelos de pabellón y canal auditivo deben ser realizados en un material que tenga una densidad superficial parecida a la piel humana, este material es la silicona de caucho.

Para poder tener los moldes lo más fiel a la realidad, se debe usar un material que primero se encuentre en estado líquido para que de esta forma penetre por completo en todo el pabellón, pero que llegue a un estado sólido sin perder la flexibilidad, para de esta forma poder retirar la oreja humana sin causar daños ni a esta ni al molde. Luego con este molde en negativo se debe sacar un positivo en un material no flexible que permita una manipulación para corregir espacios de aire, movimientos u otra imperfección, un material ocionado puede ser el yeso. Después de la debida corrección se saca otro negativo, esta

vez de un material blando, para permitir que el molde definitivo de silicona de caucho se adhiera a todas las partes de difícil acceso; al ser de un material blando el segundo negativo es inevitable la ruptura de este, pero con el molde en yeso se podrán sacar copias posteriores si fuese necesario.

### **3.1.1.7 Selección de los materiales para el modelo de cabeza y torso**

Para el modelo de la cabeza resulta necesario un cráneo o un molde de este, que cumpla con la densidad, el espesor y las medidas reales, un cerebro o material equivalente, y por último la piel, para la cual se elige al látex, material que cumple con la densidad necesaria para emular a la piel, también usado para la fabricación del pabellón auditivo.

Con respecto al torso, se debe tomar solamente la sección de este que afecte con reflexiones a la audición, es decir, el tercio superior, el material no tendrá una relevancia considerable, debido a que ha de tomarse en cuenta en las mediciones el material de alguna prenda de vestir que se coloque sobre el torso.

## **3.1.2 Metodología para la medición**

### **3.1.2.1. Toma de muestras**

Para efectuar las mediciones se toma como referencia de nivel a los 94 dBA, valor a ser alcanzado con ruido rosa, el mismo que se comprueba con un sonómetro; la distancia del modelo a la fuente sonora es de 1 metro y se mide de 0 a 90° en pasos de 22,5°, esto debido a que se facilita la subdivisión exacta de ángulos rectos en 45° y estos en 22,5°; se utiliza una guía marcada en el piso de forma tal que solamente se mueva el modelo en su propio eje, dejando al sistema de reproducción y la cadena electroacústica fijos. El tiempo de exposición es de 30 segundos por cada punto.



La primera medición se realiza con los micrófonos al aire libre, separados por la misma distancia que si estuvieran en el modelo o dentro de una cabeza humana real es decir de 14 cm. La siguiente medición se la realiza con los micrófonos dentro de una cabeza humana real. Después se lo hace con los micrófonos dentro de los modelos de oreja y canal auditivo previamente montados en el modelo de cabeza y torso.

### **3.1.2.2 Análisis de los datos recolectados**

Se procede con los datos recolectados a procesarlos en un software capaz de obtener una respuesta de frecuencia y entregar datos discretos por banda de un tercio de octava, si fuese necesario, para así poder tener un análisis más puntual en frecuencias específicas y de interés.

En la comparación de los datos obtenidos se tiene que analizar las diferentes muestras obtenidas, pero teniendo en cuenta que la comparación debe realizarse entre muestras obtenidas con una misma angulación, para así poder evaluar la incidencia de la cabeza, pabellón y canal auditivo de forma precisa.

## **3.2 Fabricación**

### **3.2.1 Micrófonos**

Tomando en cuenta todas las características que debe reunir el modelo de micrófono, se ha elegido los micrófonos Audio Technica AT899 [Fig. 8.1], [Fig. 8.2], debido a que reúne las características buscadas, respecto a:

- Sensibilidad: se los elige por tener un valor medio de -43 dB.
- Patrón polar: el patrón polar correspondiente es omnidireccional, debido a que son micrófonos de presión, los cuales se ajustan de mejor forma al funcionamiento del oído humano.

- Respuesta de frecuencia: presenta una respuesta casi plana, con un ligero incremento en alrededor de los 10 kHz de +5 dB, lo cual debe ser tomado en cuenta el momento del análisis.
- Tamaño: estos micrófonos tienen de diámetro 5mm, lo cual es justo el diámetro buscado, ya que el tímpano oscila entre 5-7 mm.

### 3.2.2 Moldes de oreja y canal auditivo

Como los moldes de oreja y canal auditivo tienen que tener exactamente la misma forma que una oreja real, se acudió a un centro especializado en audición donde también fabrican prótesis para gente discapacitada, su nombre es Pro Audio. El proceso a seguir fue empezar tomando los moldes, para esto se usó el producto addition, de la marca Detax; el cual consiste de dos partes: la base y el catalizador. Este producto es conocido por su alto nivel de detalle al momento de la impresión y su rápido secado. Su composición química es polydimethylsiloxano.



*Fig. 3.1 – Producto usado para sacar los primeros moldes. [20]*

Al momento de sacar el primer positivo se pudo observar que los moldes tenían buen detalle en la parte interna del oído, pero en la parte del pabellón y especialmente en la parte trasera de la oreja el material endurecía demasiado pronto como para penetrar en todos lados, por lo que se resolvió sacar los moldes con durosil, otro producto de Detax, que consta igualmente de dos compuestos, la base y el catalizador. Este producto es usado principalmente

como silicona para moldes negativos, por su gran resistencia molecular y nula deformación ante presiones externas manteniendo una elasticidad considerable, es un producto químicamente basado en vinilo polysiloxano elastomérico (elastomeric vinyl polysiloxane). En su fase inicial es casi tan líquido con el agua, con lo que penetra fácilmente en todas las comisuras de la oreja, el tiempo de secado es de 15 minutos gracias al calor corporal, y debido a su elasticidad se pudo retirar con facilidad la oreja después de su secado.



*Fig. 3.2 – Producto usado para sacar moldes negativos y positivos. [21]*

Con este nuevo molde negativo el primer molde positivo en yeso se formó perfectamente y se pudo corregir pequeñas imperfecciones, especialmente pequeñas burbujas de aire. Luego de tener el molde de yeso positivo sin imperfecciones se tomó un segundo molde negativo de durosil igualmente, pero esta vez teniendo cuidado de limpiar de espacios de aire a la mezcla y verterla lentamente, previamente se engrasó el molde para que no existan residuos en el molde final.

Para la elaboración final del molde final de oreja y canal auditivo se utilizó también durosil. Se lo escogió como material para el modelo debido a que su resistencia al tacto es muy similar al cartílago de la oreja, y como esta antes expuesto, por la capacidad de este material para reproducir con precisión los detalles.

### 3.2.3 Modelo de cabeza y torso humano

El proceso empieza con la adquisición de una réplica de cráneo, que cumpla con las densidades y espesores del cráneo de hueso real, se tiene que agrandar los huecos de los canales auditivos para permitir que los modelos de oreja y canal auditivo entren en su lugar, pero al momento de agrandar los canales se presentó un inconveniente, debido a que la base de los moldes es de alrededor de tres centímetros, el hueso esfenoides y la mandíbula se vieron comprometidos, y a partir de este inconveniente se presentaron más dudas, como por ejemplo, al ya no tener la barrera de hueso y al estar expuesto el modelo, ¿es en verdad una buena decisión continuar con el proceso de construcción paso a paso de las barreras que existen en un ser humano real, como la piel y los músculos? Al estar el modelo acoplado al cráneo, la transmisión mecánica debería ser igual que en un cráneo real, pero el modelo esta hecho de silicona, lo cual amortigua la transmisión, y el micrófono está montado sobre el modelo de silicona mismo, lo que hace que la transmisión mecánica se amortigüe aún más, por lo tanto si el cráneo ya no cumple con las condiciones de uno real, y el modelo de oreja y pabellón están cambiando las condiciones de escucha, ¿es factible seguir invirtiendo en productos tan costosos como lo es la silicona?

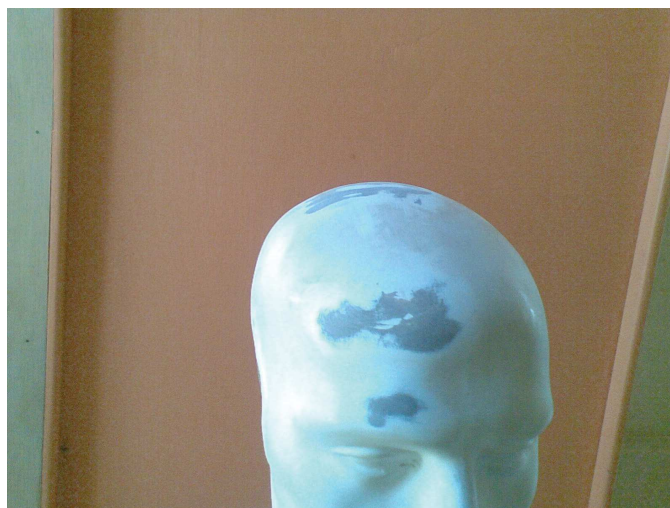
Se concluye más por el factor económico que no es viable continuar con la construcción de este modelo basado en un cráneo.

Ahora se busca un material que posea la densidad de hueso, músculos y piel, que tenga forma humana para que las sombras acústicas se ajusten a las de una cabeza real, y que la separación de los tímpanos sea la correcta igualmente. Analizando información en foros sobre *dummy head* y en folletos de empresas dedicadas a la fabricación de estos, se llegó a elegir a un maniquí de medio cuerpo hecho de fibra de vidrio, debido a que era recurrente el uso de esta clase de modelo por diferentes personas y empresas, así como laboratorios, y al ser de fibra de vidrio es resistente pero a la vez delgado, lo que facilita la manipulación de este para cortar, perforar y transportar, además

es sencillo de rellenar de algún material absorbente para así emular la densidad del cuerpo humano.

### 3.2.3.1 Acondicionamiento del maniquí

Se consiguió un maniquí de segunda mano en una provincia del país, y en el proceso de transportación el maniquí sufrió algunos golpes, por lo que la primera consideración que se tiene es masillar las fisuras y lijar las imperfecciones en la superficie, se tiene especial cuidado en la cabeza debido a que es la parte principal del experimento, la mezcla a utilizarse como masilla estuvo compuesta de yeso agua y goma blanca, para sellar las fisuras y así no correr el riesgo que la masilla se caiga debido a futuros movimientos, ya que con la goma se adhiere permanentemente a la fibra de vidrio.



*Fig. 3.3 –Maniquí en el proceso de masillado y lijado.*

El maniquí de fábrica viene con orejas, pero claramente estas no se asemejan siquiera al modelo de oreja fabricado para este proyecto, por lo que se tiene que retirarlas, para minimizar el daño en la fibra de vidrio se utiliza una broca de 1 mm de diámetro para perforar el perímetro de la oreja original del maniquí mediante una sucesión de agujeros muy juntos, después con sumo cuidado se une los agujeros para poder sacar la oreja, este proceso se repite con la segunda oreja.



*Fig. 3.4 –Maniquí en la extracción de las orejas originales.*

Luego, se lija la superficie para dejarla completamente lisa y así prevenir que el modelo de canal y pabellón auditivo se pueda dañar y permitiendo que el maniquí pueda ser pintado sin dejar en evidencia la extracción de las orejas originales.

### **3.2.3.2 Montaje de los modelos de oreja y canal auditivo**

Al momento de montar los modelos de oreja y canal auditivo se puede evidenciar que las orejas originales del maniquí son sustancialmente más grandes que los modelos, por lo que se necesita una forma de sellar las entradas posibles de sonido por estos espacios y se hace preciso montar los modelos sin tener que cortar perforar o fisurar la cabeza del maniquí, la primera opción que aparece es perforar el torso del maniquí y desde este punto manipular los micrófonos y el montaje de los modelos, las ventajas de este procedimiento es que no afecta de ninguna forma a la cabeza y el sellado de los modelos de oreja y canal auditivo sería seguro, pero las desventajas son muchas más tales como la dificultad extrema de manipular a los modelos sin contacto visual y la inserción de los micrófonos en éstos, lo que resulta igualmente una tarea casi imposible.

La segunda opción que aparece es realizar un corte en la parte de la nuca, de tal forma que con el sobrante de material del corte se vuelva a sellar el maniquí, esto resulta muy conveniente para manipular los modelos desde dentro y para la colocación de los micrófonos, su desventaja es que se tendría que sellar el maniquí de forma hermética para que no exista filtración de sonido por las comisuras, lo cual lo hace impráctico, ya que si algún momento surge un inconveniente con los micrófonos o con los modelos, se tendría que cortar de nuevo el maniquí lo cual tomaría tiempo, recursos y derivaría en el deterioro de este.

Finalmente la opción más viable que se suscita, es montar las orejas externamente en el maniquí, lo que requiere una superficie externa para perforar y permitir la introducción de los modelos de oreja y canal auditivo en esta, después se montará esta superficie a la cabeza, la misma que tendrá que ser ligeramente superior a los agujeros existente es la cabeza del maniquí para un buen sellado. Después de algunos intentos con madera y cartón, se decide recortar círculos de la parte interna de los brazos del maniquí, debido a que son de fibra de vidrio al igual que el resto del modelo, también a que son flexibles y fáciles de recortar y perforar, así como resistentes a humedad y a la manipulación.

Con una broca de 1 mm de diámetro se extrae un par de círculos de la parte interna de los brazos del maniquí y se realiza la perforación en la parte interna de cada uno a la medida de cada modelo de oreja y canal auditivo, con lo que no se necesita más que un método de sujeción de estos por la parte interna ya que al estar hechos a la medida el sellado es perfecto. Se toma como método a toallas de papel absorbente en tiras unidas por goma blanca, agua y yeso, con lo que se logra una solución que se adhiere fuertemente a la fibra y al modelo de oreja y canal auditivo, se utiliza un poco de esta solución para la parte externa, para suavizar las uniones entre la fibra de vidrio y la silicona, se deja una pequeña curvatura para dar una apariencia más natural. En este punto solamente falta adherir esta superficie a la cabeza, por lo que se piensa que por razones de accesibilidad y versatilidad se debería sujetar mediante una



sucesión de tornillos, para así ejercer presión sobre todo el perímetro de la misma forma, y para evitar filtraciones de aire y sonido se coloca una capa de espuma de caucho homogénea en todo el perímetro a manera de empaque, de esta forma se asegura que la cabeza permanezca sellada al aire y por lo tanto a posibles filtraciones de sonido.



*Fig. 3.5 – Modelo de orejas montadas sobre círculos de fibra de vidrio.*

### **3.2.3.3 Relleno y acabado del modelo**

Para rellenar el maniquí se elige plumón de alta densidad, debido a su accesibilidad económica y capacidad de compactarse, se utilizan dos kilos de este material, lo que equivale a dos veces y media el tamaño del maniquí, durante este proceso surge otra inquietud, si este material junto con la fibra de vidrio del maniquí emulan al músculo y la piel ¿Qué ocurrirá con el cerebro? ¿Tendrá la misma densidad que el musculo y la piel? Claro que no, por lo que se decide colocar un material que emule al cerebro, y más que nada aporte con un cambio de densidad, para esto se elige a la silicona de baño a ser utilizada como cerebro, debido a su textura blanda el momento de secar y por su propiedad adherente, ya que tendrá que soportar su propio peso al estar sujeta al cráneo del maniquí, es decir no estará asentada sobre ninguna superficie sino estará suspendida de la parte interna, toma de cuatro a cinco días su secado pero resulta eficiente.



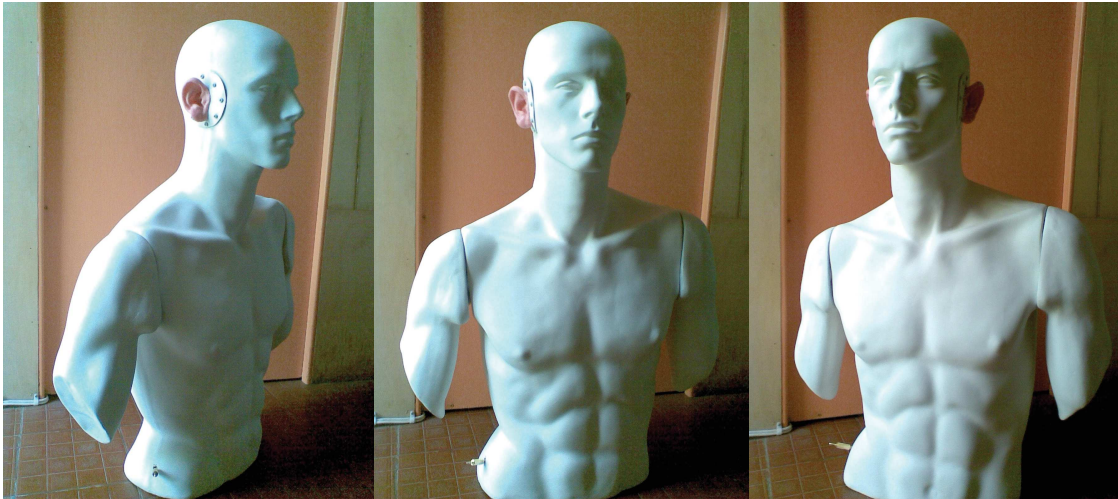
Se recorta la parte inferior del maniquí para facilitar la inserción del material absorbente, se lo compacta energicamente dentro del maniquí para no dejar espacios vacios, se empieza por la cabeza, continua por el cuello y finalmente el torso, al finalizar se procede a cerrar la parte inferior del maniquí.

El cambio que se aprecia es extremadamente notorio, de ser un cuerpo rígido completamente hueco, que actúa como caja de resonancia pasa a ser un objeto con peso considerablemente superior y gran capacidad de absorción acústica de posibles frecuencias en su interior ante la presencia de un frente de onda lo suficientemente grande como para hacerlo resonar.



*Fig. 4.6 – Proceso de relleno del modelo.*

Se realiza el acabado del modelo con pintura de lata blanca mate, se tiene sumo cuidado en esta parte, ya que la pintura a base de laca es abrasiva con la fibra de vidrio y podría perforar al maniquí si se colocan capas de pintura demasiado espesas. Finalmente toma 14 manos de pintura el cubrir de un color homogéneo al maniquí ocultando toda evidencia de manipulación previa, también se cubren los tornillos que sellan los modelos para dar una apariencia sobria y elegante.



*Fig. 3.7 – Dummy head terminado.*

### **3.3 Mediciones**

Una de las primeras consideraciones que se tiene el momento de medir es verificar que la sala donde se realizan las mediciones cumpla con valores muy bajos de ruido de fondo, y que no tenga reflexiones que alteren los resultados, por lo tanto se consiguen paneles de espuma de caucho para colocar en las paredes, aparte se utilizan materiales que se encuentran a la mano como esponjas de sillones y cubrecamas rellenos de materiales absorbentes con el fin de crear la situación más cercana a campo libre posible. Con respecto al ruido de fondo, para evitar cualquier filtración externa se realizan las mediciones en horas de la noche cuando el ruido de la ciudad ha disminuido lo máximo posible.

En lo que respecta a la cadena electroacústica, se utiliza como interface de audio a la 003 de Digidesign, conocida por su alta fidelidad el momento de captar audio, conjuntamente con esta interface se usa el software Pro Tools, para garantizar que el proceso de toma de datos sea 100% libre de fallas. Los cables usados son de marca Climb, de alta impedancia y triple blindaje, garantizan que no existan perdidas de frecuencias y tampoco inducción electromagnética en estos. Los preamplificadores usados son los de la interface de audio, conocidos como preamplificadores fríos, debido a que no aportan con ninguna clase de armónico a la señal que están preamplificando.

Los micrófonos incorporan sus propios cables y un adaptador de *phantom power*, debido a que los micrófonos trabajan de 12-18 Volts y el *phantom power* que envía una interface o cualquier otro dispositivo de audio es de 48-52 Volts, es por esto que tiene que ser adaptado este voltaje; el circuito de adaptación viene incluido en el cable y garantiza que la señal no se degrade.

Se coloca una fuente de dos vías a una altura desde el piso hasta el transductor de altas frecuencias de 1,25 m, esto debido a que corresponde a la altura de una persona sentada medido desde el piso hasta la altura de la oreja, se separa a un metro de ésta y se procede a calibrar el nivel comprobando con un sonómetro para que llegue hasta los 94 dB, la primera opción a utilizar es un sonómetro tipo 2, pero por razones de accesibilidad se usa el analizador de audio portátil Phonic PAA2 para comprobar el nivel en la sala, este medidor no es igual de preciso que un sonómetro tipo 2 y su variación puede ser de  $\pm 1,5$  dB en el nivel instantáneo que es el que compete.

Las mediciones se realizan según lo planeado, primero se mide con los micrófonos al aire libre con una separación equivalente a la que tendrán dentro del *dummy head* y de la cabeza real (14 cm). Después se procede con las mediciones en la cabeza real y finalmente con el *dummy head*.

Respecto a las mediciones con los micrófonos al aire libre, se mide primero de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  para comprobar si los dos micrófonos poseen una respuesta igual y de esta forma asumir que de ambos micrófonos, son iguales, y si este no fuera el caso se procede a medir en sentido negativo, es decir en sentido anti horario para así tener mediciones para comparar junto con el resto de casos cómo reacciona el micrófono en dicha posición.

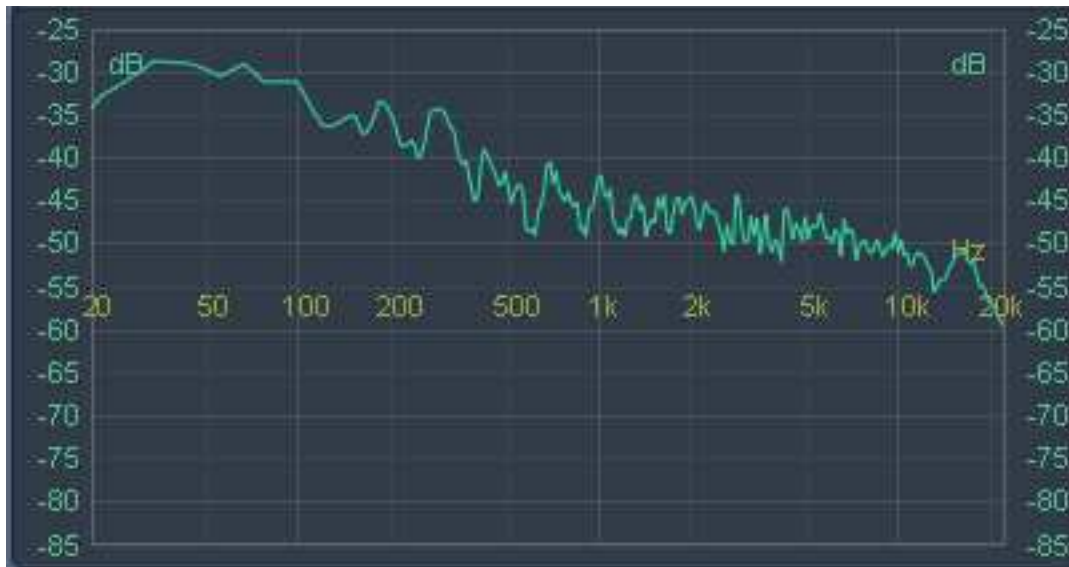
En los siguientes dos casos de medición, es decir, con los micrófonos dentro del *dummy head* y de la cabeza humana real, se mide los  $180^\circ$  debido a que los canales auditivos no son iguales, por lo tanto la medición resulta diferente en las dos orejas.

### **3.4 Resultados**

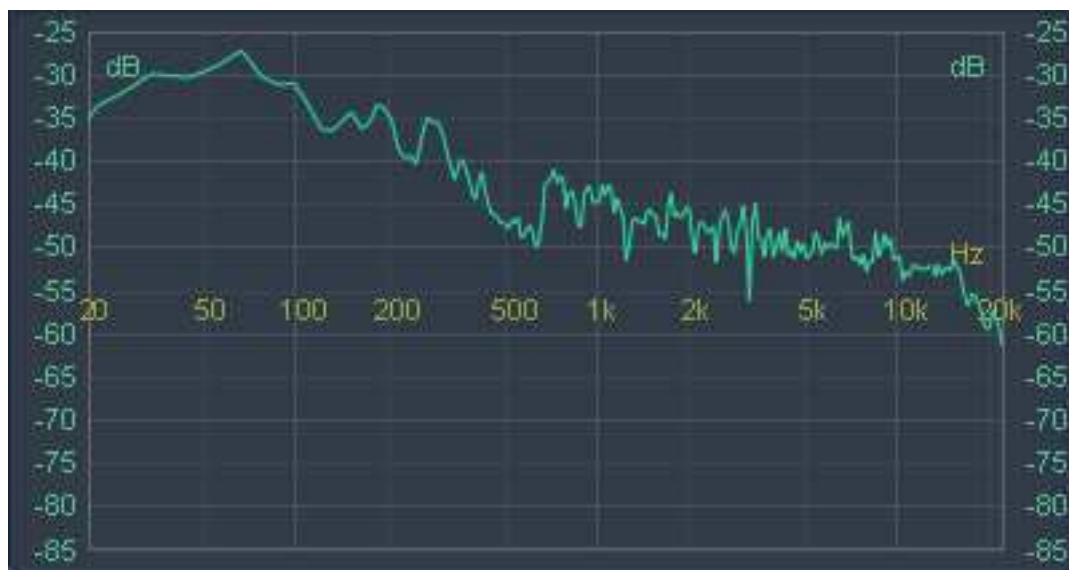
Se empieza la interpretación de los gráficos de frecuencia obtenidos de las mediciones explicando el procedimiento a seguir para la obtención final del gráfico. Primero, después de grabar las muestras, se las corta exactamente a 30 segundos. Tanto a la muestra del micrófono izquierdo como a la del derecho, se las normalizó independientemente, el tipo de normalización es Peak a 0 dB, esto con el fin de entregar al programa de detección de frecuencias siempre una muestra con el mismo rango dinámico para una mejor y más eficiente visualización de niveles en la grilla del programa; luego se las nombra.

Posterior a estos procesos, se toma capturas de pantalla de los gráficos en cada punto y con estos se empieza la comparación de datos.

### 3.4.1 Gráficos de frecuencia obtenidos de las mediciones en los micrófonos al aire libre



*Fig. 3.1- Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo al aire libre a 0°.*



*Fig.3.2 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho al aire libre a 0°.*

- El proceso de medición empieza según lo planeado, distanciando los micrófonos a un metro y dejando el nivel a 94 dB. Se usa ruido rosa como señal de prueba.

- En el lado izquierdo, en las frecuencias graves se mantiene una relación casi idéntica con el lado derecho, a excepción de los 60 Hz que sufren un ligero incremento de 3,5–4 dB.
- Desde los 300 Hz hasta los 500 Hz se aprecia una caída de 8 dB.
- En los 3,15 kHz el lado derecho presenta un decaimiento muy puntal de aproximadamente 10dB.
- Alrededor de los 12 kHz el lado izquierdo presenta un decaimiento de 2.5 dB.



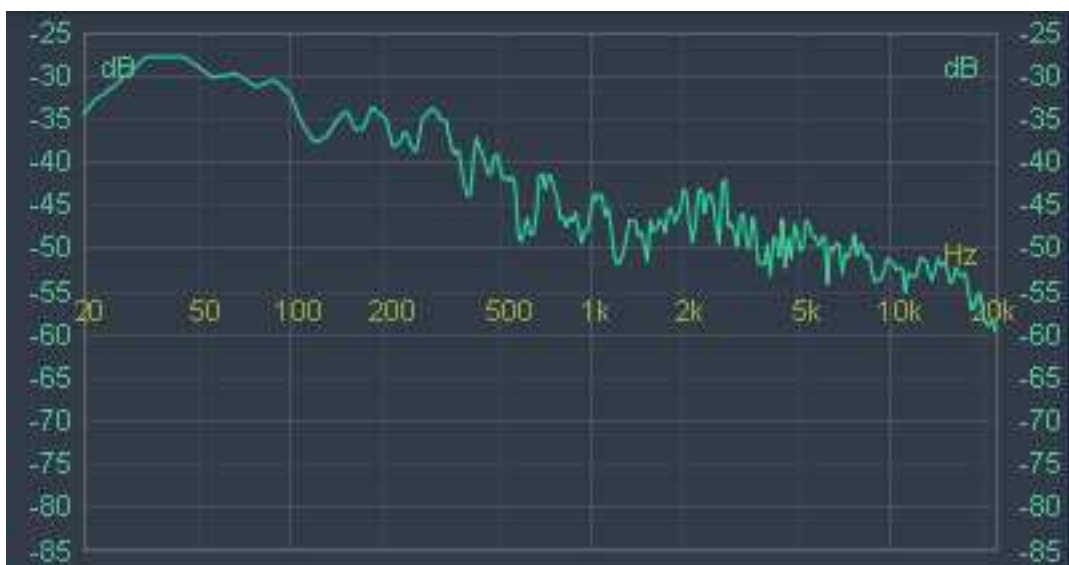
*Fig.3.3 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo al aire libre a 22,5°.*



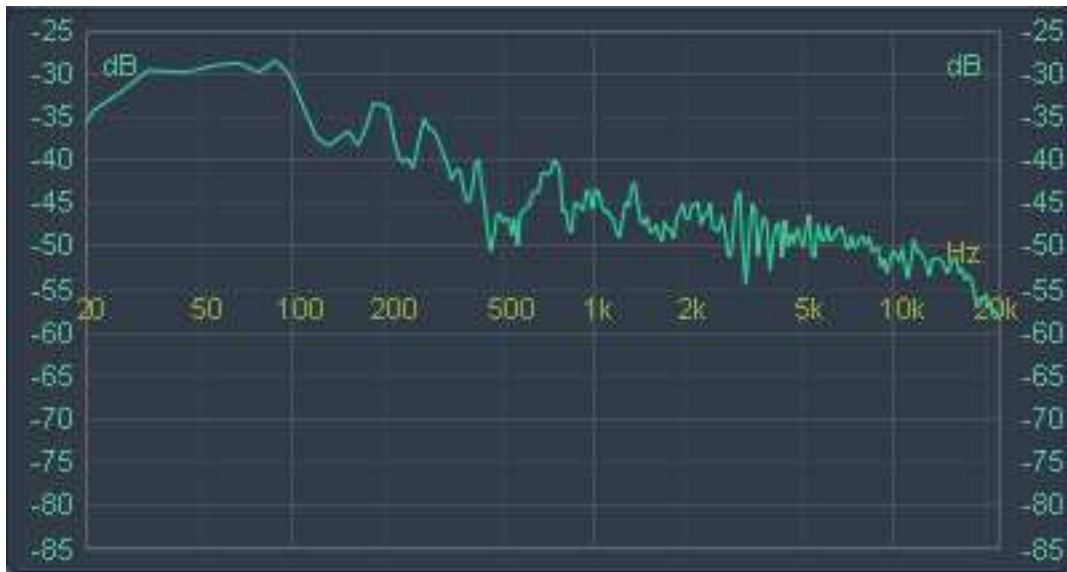


*Fig.3.4 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho al aire libre a 22,5°.*

- La caída alrededor de los 500 Hz en el lado derecho incrementa ligeramente.
- El espectro mantiene una relación muy estrecha con la anterior medición.
- En el lado derecho por los 15 kHz se parecía una caída, esto lo más probable sea por el cambio de ángulo respecto a la fuente.



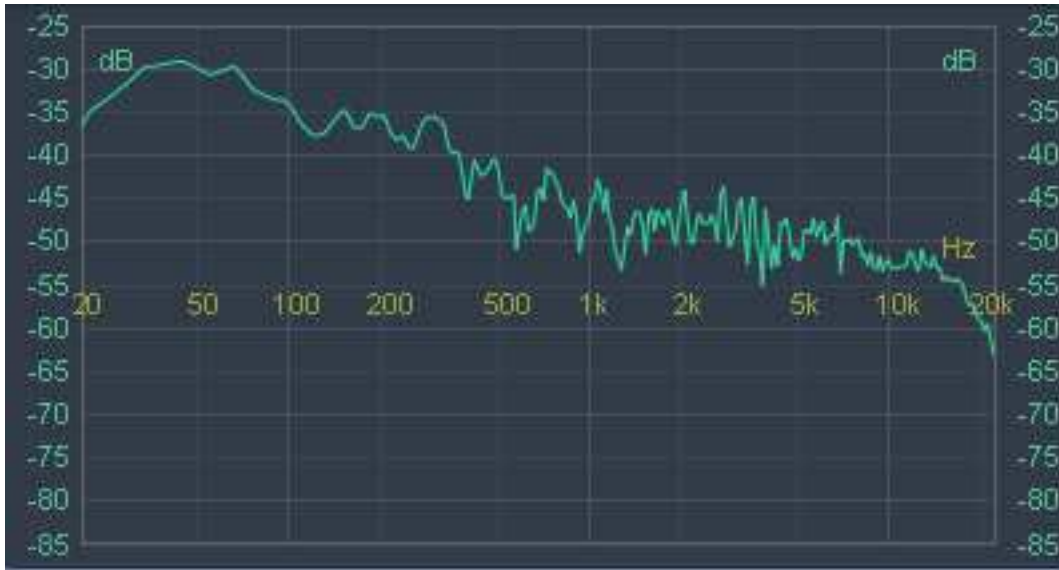
*Fig.3.5 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo al aire libre a 45°.*



*Fig.3.6 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho al aire libre a 45°.*

- En el lado derecho aparece cercano a la anterior caída en 500 Hz otra pequeña caída puntual alrededor de los 400 Hz.
- En el lado izquierdo alrededor de los 10 kHz el espectro tiende a aplanarse ligeramente.
- En este punto a los 45° se puede ver claramente que la respuesta de los micrófonos no varía de forma abrupta lo que ratifica su funcionamiento omnidireccional.



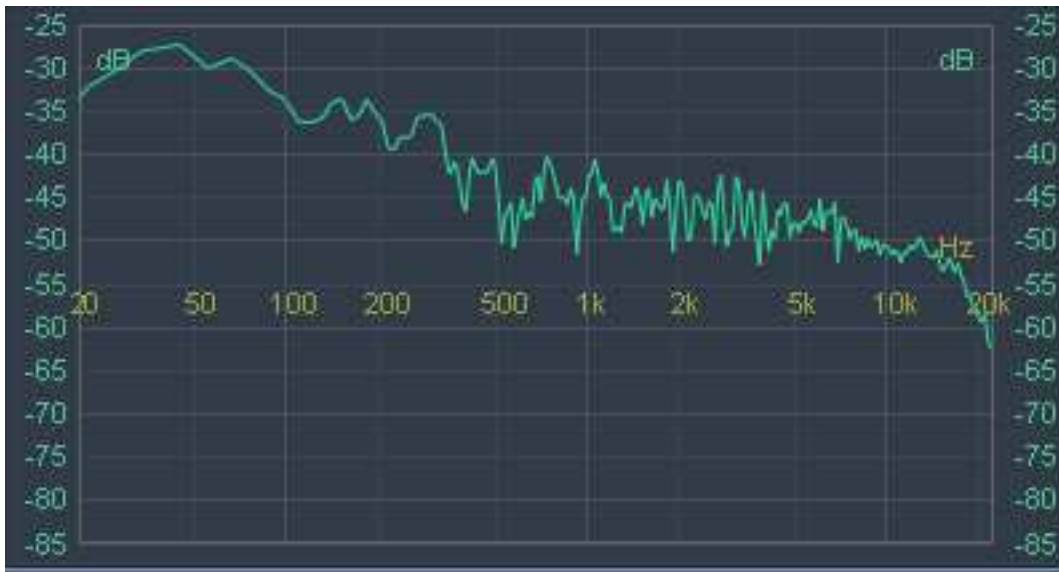


*Fig.3.7 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo al aire libre a 67,5°.*

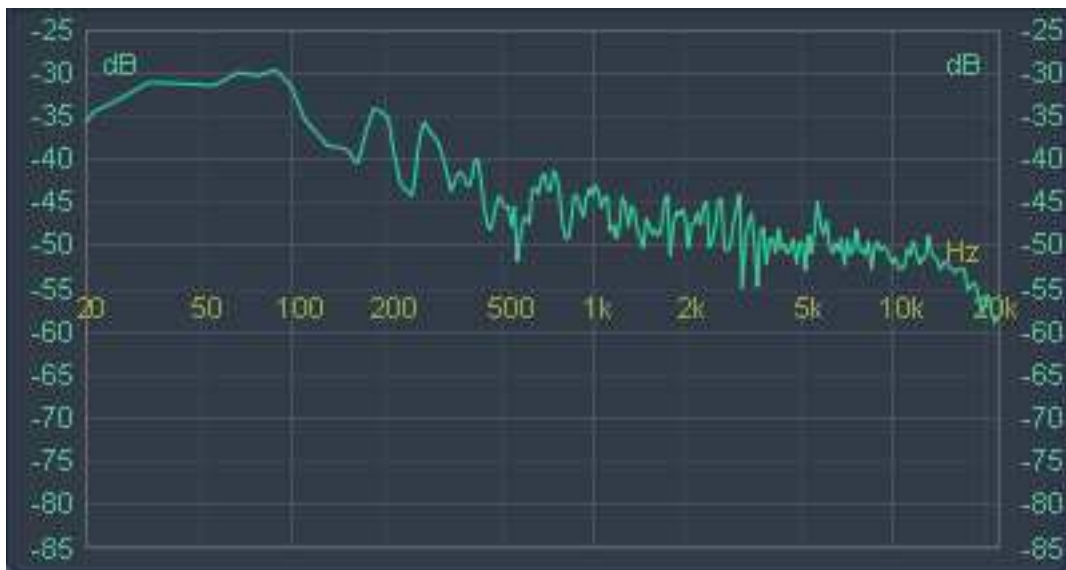


*Fig.3.8 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho al aire libre a 67,5°.*

- En este punto al lado derecho el espectro se mantiene casi sin variaciones con excepción de una disminución alrededor de los 4,5 kHz.
- En el lado izquierdo se aprecia una baja general de los 2–5 kHz de alrededor 2 dB.
- En el extremo de arriba del lado izquierdo, por los 20 kHz se aprecia una disminución del nivel en 2,5 dB.



*Fig.3.9 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo al aire libre a 90°.*



*Fig.3.10 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho al aire libre a 90°.*

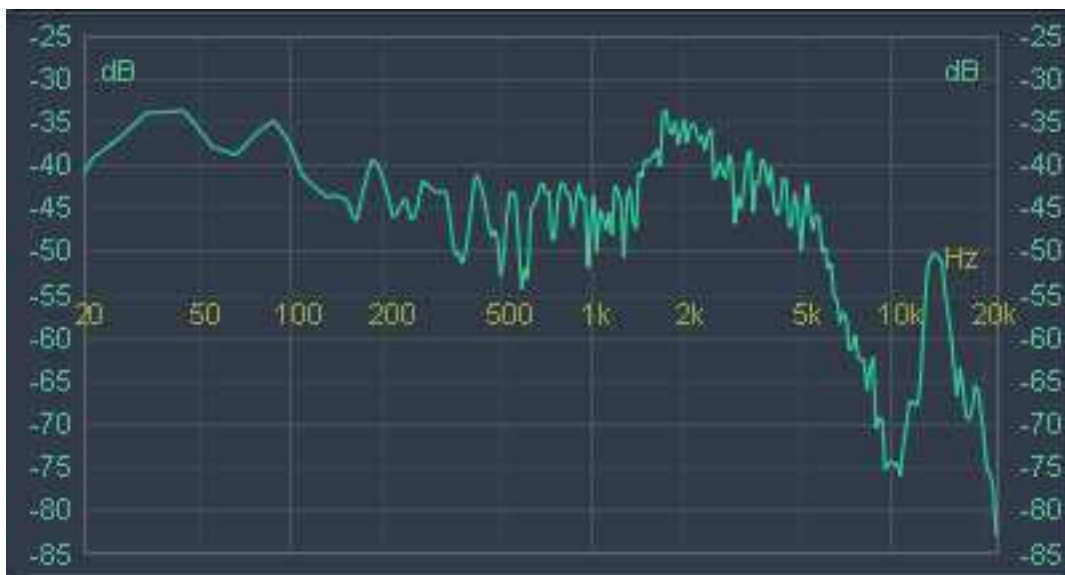
- En el lado derecho se puede apreciar que los picos y depresiones se acentúan, en los 500 Hz, y entre los 2–5 kHz.
- En el lado izquierdo solamente cambia de forma ligera un par de picos colindantes a la depresión en 1 kHz.

- A manera de observación general con los micrófonos al aire libre, se puede decir que la variación que existe entre cada punto es casi despreciable, ya que las variaciones que se aprecian son muy puntuales y de poca amplitud, por ejemplo la caída alrededor de los 500 Hz que se aprecia en todas las tomas puede ser causada por razones arquitectónicas de la sala donde fue realizada la medición, o bien por factores de respuesta de la fuente, esto puede ser factores de construcción específicamente, o factores electrónicos como la respuesta del cono de bajas frecuencias o el *cross-over*.
- Al ser tan pequeñas las variaciones entre los dos micrófonos, incluso al momento de estar uno de estos completamente apuntando a la fuente y el otro completamente opuesto, se puede asumir que la respuesta de los micrófonos en sentido anti horario es igual a la realizada en sentido horario, por lo que se procede con lo planeado y no se mide en anti horario.
- Con esto se puede comprobar la omnidireccionalidad de los micrófonos, ya que en la medición de  $90^\circ$  muestra claramente que la respuesta de los dos micrófonos es casi la misma, y al estar a  $90^\circ$  de la fuente indica que uno está a  $0^\circ$  y el otro a  $180^\circ$ , haciendo indiscutible la efectividad de su patrón polar.
- Posteriormente con las siguientes mediciones se toma como punto de partida la respuesta de esta medición, para ver posteriores cambios, los cuales seguramente ocurrirán por efectos del canal y pabellón auditivo.

### 3.4.2 Gráficos de frecuencia obtenidos de las mediciones en los micrófonos dentro de la cabeza real



*Fig. 3.11 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro de la cabeza real a 0°.*

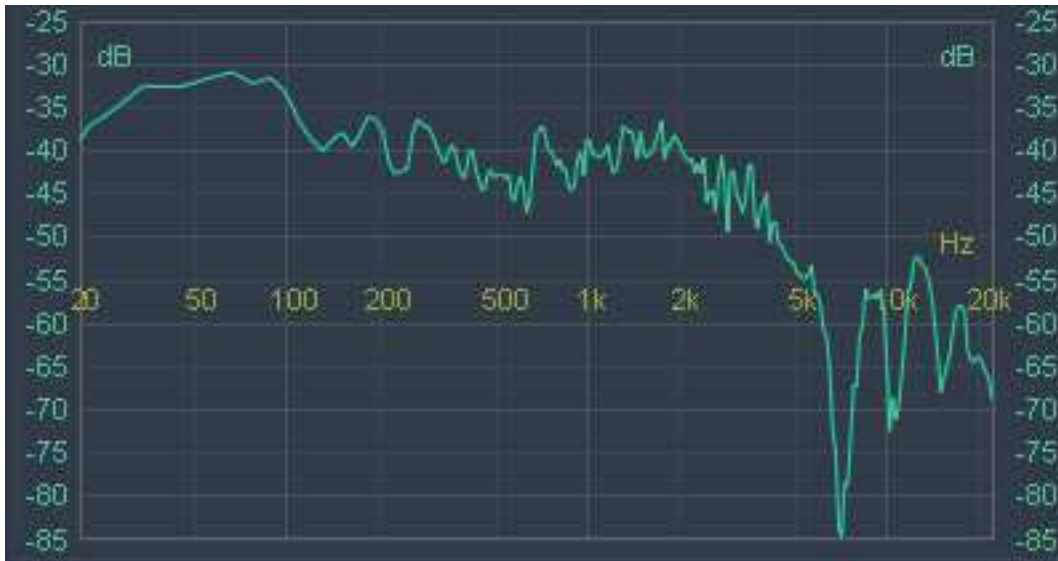


*Fig.3.12 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro de la cabeza real a 0°.*

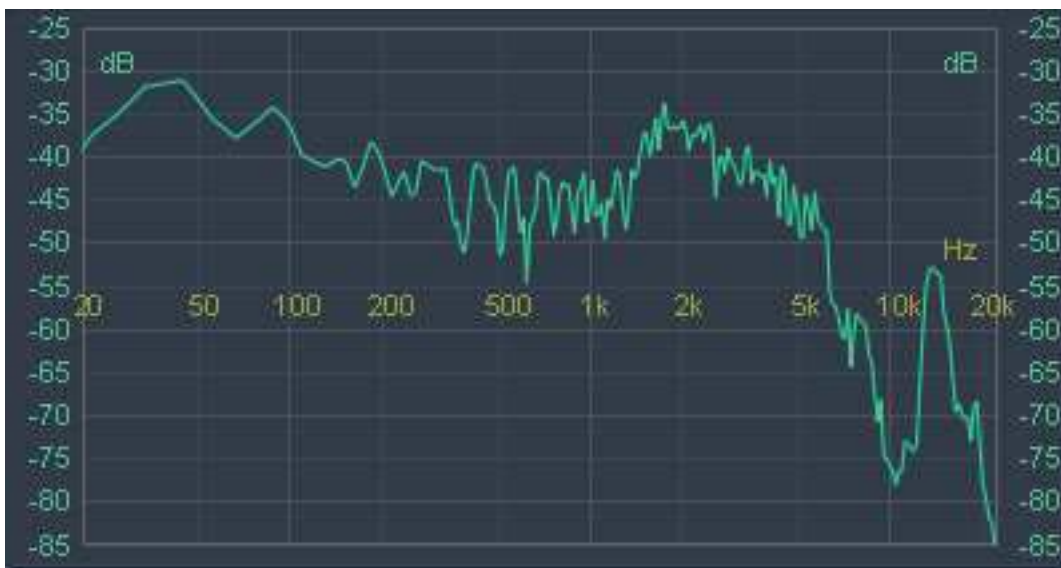
- Claramente se puede observar en comparación con la Fig. 3.1 que hasta los 600 Hz en el lado izquierdo el espectro se mantiene prácticamente igual, cambiando ligeramente por los 100 Hz y disminuyendo alrededor

de los 600 Hz, el tramo comprendido entre los 250 Hz hasta los 600 Hz tiende a aplanarse, teniendo así los picos de amplitud más estable.

- A partir de los 600 Hz se evidencia claramente un incremento, el cual se extiende hasta los 5 kHz, este claramente es causado por efecto del canal auditivo, pero el incremento en 750 Hz ya se encontraba presente en la medición al aire libre, solamente aumenta 5 dB.
- En los 7 kHz se aprecia una caída muy grande de 30 dB, otra por los 10 kHz de 20 dB, otra por los 15 kHz de 18 dB y finalmente por los 18 kHz se mantiene un decaimiento hasta los 20 kHz de 10 dB.
- Esta sucesión de caídas es causada por efectos del micrófono dentro del canal auditivo, ya que se experimentó incomodidad al momento de introducirlo, tal vez la anatomía del canal auditivo es demasiado curvada como para permitir el ingreso de un objeto completamente recto, por más que este sea de tamaño reducido, como lo es el micrófono usado para las mediciones.
- En el lado derecho comparando con la Fig. 3.2, se aprecia un cambio completo del espectro, empezando por los 60 - 70 Hz que sufren una depresión de 10 dB.
- Desde los 100 Hz hasta los 170 Hz sufre una caída paulatina de 10 dB.
- En un rango desde los 180 Hz hasta los 1,5 kHz el espectro se mantiene entre picos y valles, coincidiendo en un estrecho punto a los 600 Hz con la medición anterior, frecuencia que permaneció constantemente reducida durante todas las mediciones al aire libre.
- Desde los 1,5 kHz hasta los 5 kHz se ve claramente un gran incremento de 10 dB.
- Y desde los 5 kHz hasta los 10 kHz se mantiene una caída de 30 dB, posteriormente una elevación hasta los 13 kHz de 25 dB, seguido por una caída constante hasta los 20 kHz de 35 dB.



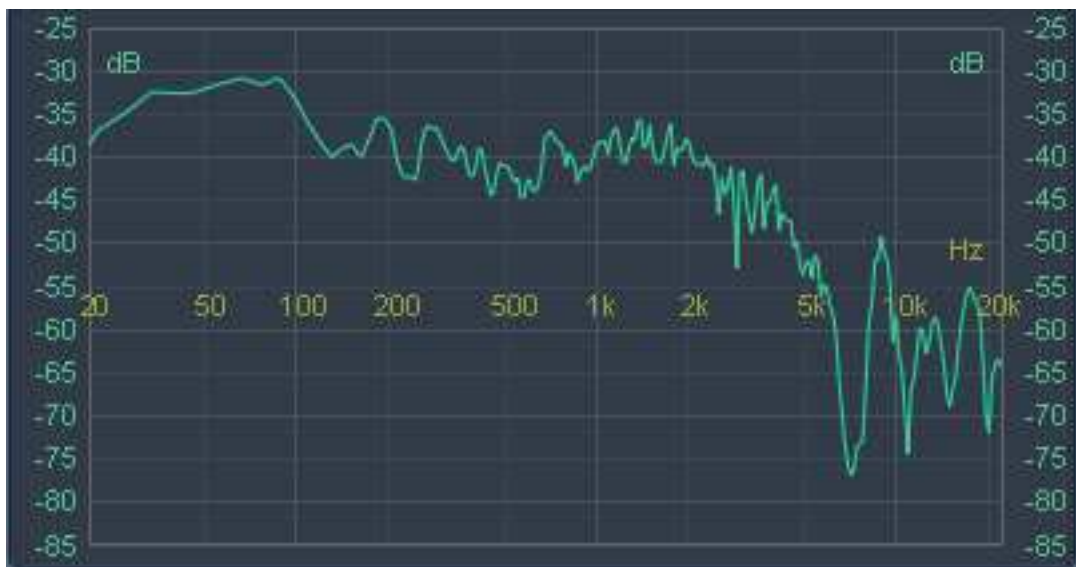
*Fig.3.13 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro de la cabeza real a 22,5°.*



*Fig.3.14 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro de la cabeza real a 22,5°.*

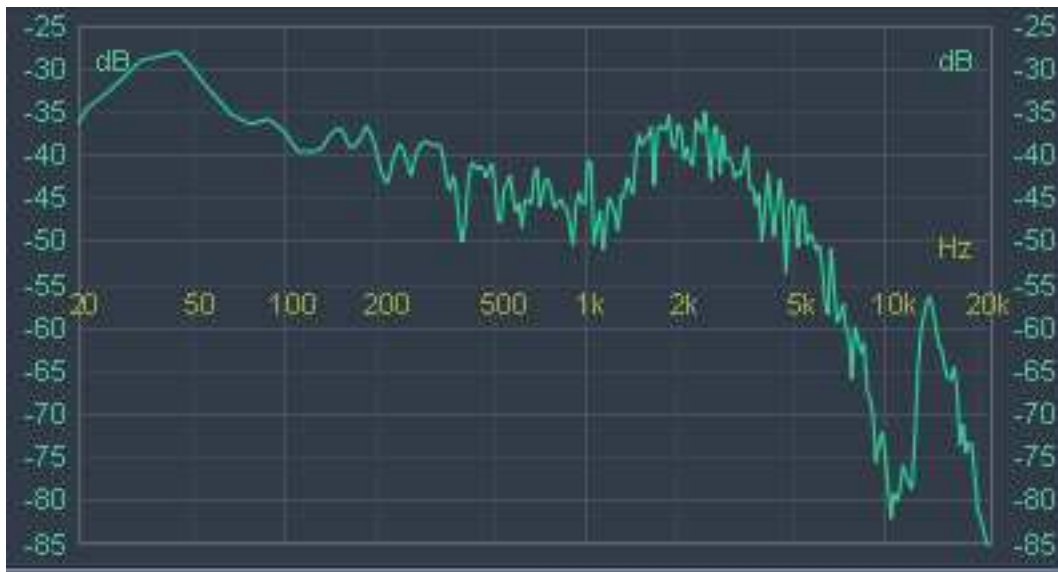
- Con respecto a la medición anterior el espectro permanece casi igual hasta los 600 Hz, y es alrededor de esta frecuencia que la caída que existía anteriormente desaparece.
- Por los 800 Hz decae el pico anteriormente presentado decae, lo hace en una amplitud de 5 dB.

- Desde 1 kHz hasta los 5 kHz permanece prácticamente igual, hasta llegar a los 7 kHz donde la depresión de 30 dB disminuye 4 dB, quedando en 26 dB.
- Las otras depresiones en 10 kHz y 18 kHz disminuyen en alrededor de 1 dB, lo que deja al espectro casi igual en este rango de frecuencias.
- En el lado izquierdo existe un incremento en las frecuencias graves
- Alrededor de los 150 Hz se aprecia un incremento ligero, que deja al espectro visiblemente más plano.
- Los siguientes cambios que se presentan son en las frecuencias agudas, en la depresión de 10 kHz, esta depresión decae aproximadamente 2,5 dB.



*Fig.3.15 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro de la cabeza real a 45°.*



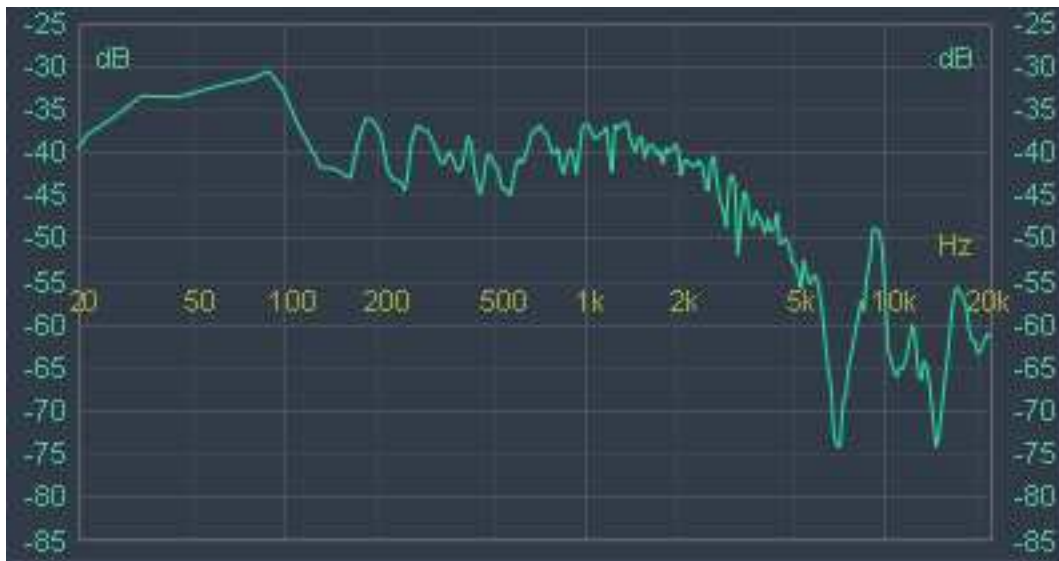


*Fig.3.16 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro de la cabeza real a 45°.*

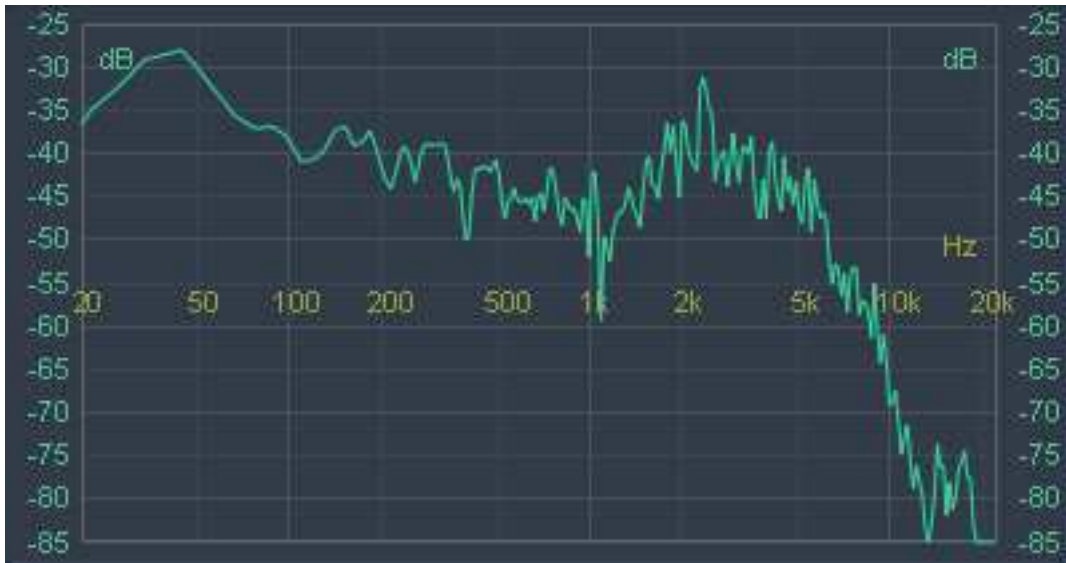
- Nuevamente en la parte grave del espectro este permanece igual, hasta alrededor de 1 kHz, donde se observa una elevación de 5 dB.
- Alrededor de los 3 kHz aumenta 3 dB una pequeña depresión.
- En la gran depresión de los 7 kHz se aprecia una disminución de esta, de alrededor de 8 dB, mientras que en los 10 kHz la depresión aumenta en 2,5 dB.
- Alrededor de los 9,5 kHz se aprecia un cambio en el pico presente, esta aumenta unos 6 dB, mientras que por los 13 kHz este pico disminuye en 8 dB, apareciendo en ella una depresión muy pequeña en la punta.
- Por los 19 kHz aparece otra definida depresión de 7 dB.
- En el lado derecho el espectro cambia considerablemente por los 40 Hz aumentando 2,5 dB, en los 60 Hz solamente 2 dB, haciendo que el espectro adopte una forma más regular.
- Alrededor de los 500 Hz se apreciaban unas pequeñas y puntuales depresiones en la Fig. 3.14, que en el gráfico actual disminuyeron en 2,5 dB y 7 dB respectivamente.



- Por los 800 Hz se aprecia la aparición de una caída de 6 dB, y en 1 kHz un aumento de 2 dB.
- Cercano a los 2 kHz aparece un incremento no muy puntual, que aplana de cierta forma el espectro cercano a estas frecuencias.
- En la caída de los 10 kHz se puede apreciar un aumento en su profundidad de 5 dB, y de igual forma en el pico presentado en los 13 kHz el aumento es de 4 dB.
- Esto habla claramente que el lado derecho está siendo tapado por la cabeza real, al empezar a ocultarse de la fuente por el movimiento sobre el eje, mientras que en el lado izquierdo el micrófono se enfrenta de forma cada vez más directa a la fuente, lo que hace que en las frecuencias agudas se produzca un incremento.



*Fig.3.17 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro de la cabeza real a 67,5°.*



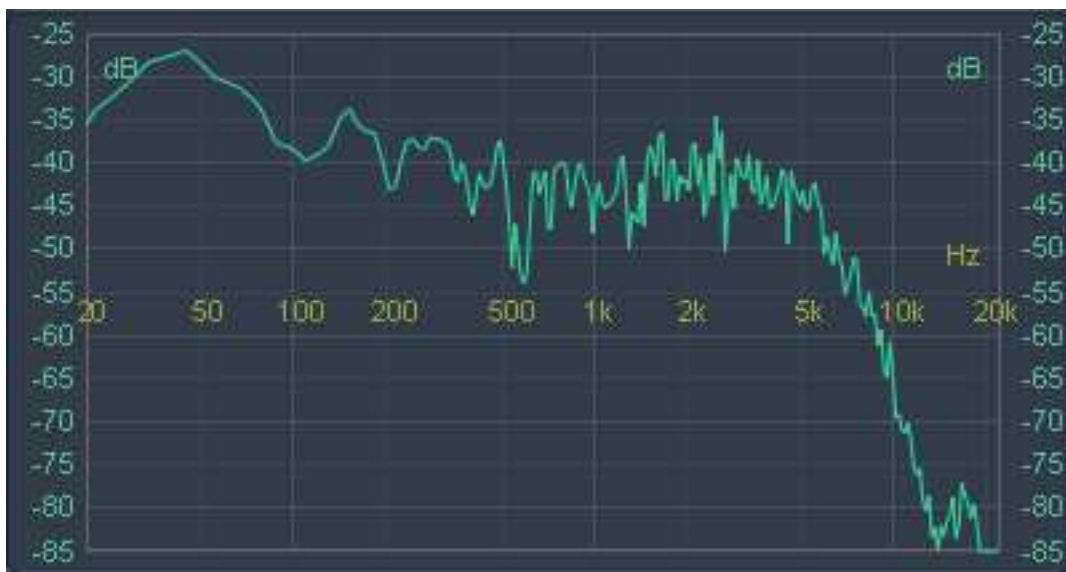
*Fig.3.18 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro de la cabeza real a 67,5°.*

- En los 75 Hz se aprecia una disminución muy pequeña, tan solo de 1 dB, pero que aplanar el gráfico, dejando la pendiente recta.
- En los 150 Hz existe un cambio de 2,5 dB, la depresión antes presente disminuye.
- Por los 1,8 kHz y los 4 kHz existe una disminución del espectro de 4 dB.
- Muy puntualmente por los 3 kHz en la Fig. 3.15 se aprecia una depresión, esta desaparece por completo en el actual gráfico, pero se aprecia el apareamiento de otra por los 3,5 kHz, misma que decae en 4 dB.
- En la gran caída por los 7 kHz se puede apreciar que el proceso de disminución continua, esta vez disminuye 2 dB.
- El siguiente valle a los 11 kHz disminuye dramáticamente casi hasta el punto de desaparecer, lo hace en 11 dB, mientras que el pico a los 13 kHz se reduce en 4 dB.
- En los 15 kHz aumenta una depresión puntual en 6 dB.

- A los 19 kHz la depresión antes existente se reduce en 9 dB.
- En el lado derecho se puede ver que en las frecuencias graves el espectro permanece sin variaciones, hasta llegar a los 100 Hz donde el valle anteriormente mostrar disminuye su profundidad en 1 dB.
- Cercano a 1 kHz aparece una depresión puntual que cambia el espectro en 8 dB.
- Por los 2,5 kHz se incrementa un pico en 5 dB.
- En la parte aguda del espectro, existe un cambio muy grande, la gran depresión existente en los 7 kHz ya no existe más, pero por el desplazamiento de su frecuencia central hasta los 13 kHz, con esto su pendiente igualmente, esta tiende a regularizarse de los 6–9 kHz, para luego caer abruptamente.
- En las frecuencias agudas posteriores existe otro cambio muy significativo, el pico alrededor de los 15 kHz desaparece, cayendo 25 dB, dejando solamente un par de leves elevaciones colindantes.
- Los cambios que se aprecian en estos gráficos dan una idea que sobre las frecuencias graves la cabeza humana casi no tiene efecto, esto debido al leve cambio en estas, lo contrario se muestra en las frecuencias agudas, en las cuales mientras más sombra ejerza la cabeza, menor será su amplitud.



*Fig.3.19 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro de la cabeza real a 90°.*



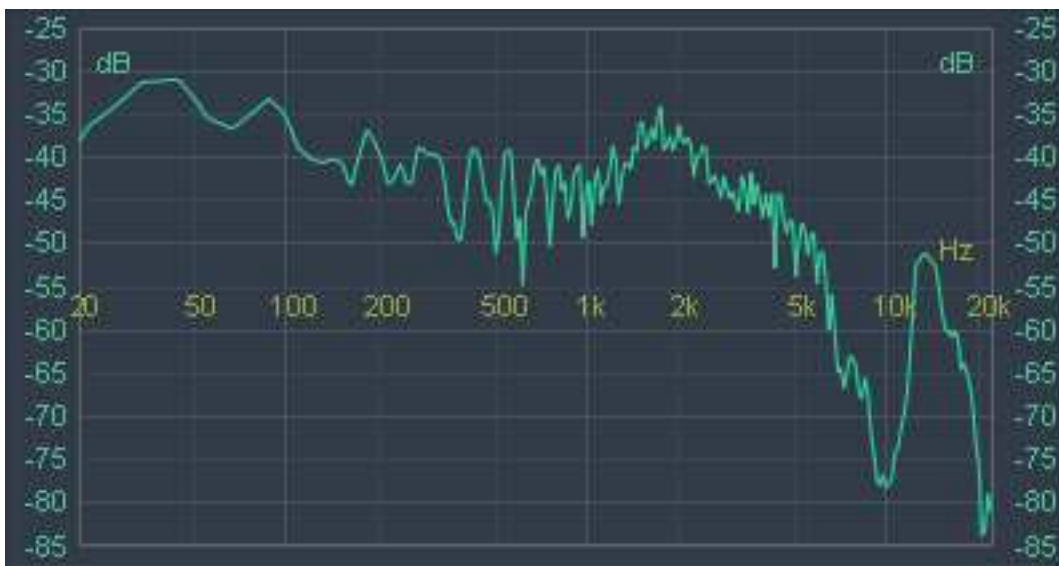
*Fig.3.20 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro de la cabeza real a 90°.*

- En esta medición el espectro grave del lado izquierdo no cambia, como ya se ha visto en las anteriores, pero esta vez no se aprecian cambios significativos hasta los 500 Hz donde una depresión existente disminuye su amplitud en 1,5 dB.

- Alrededor de 1 kHz, desaparece un valle, con una disminución de nivel en 2,5 dB, igualmente que por los 1,1 kHz, donde disminuye muy puntualmente el espectro.
- Por los 2 kHz aparece otra caída, de 5 dB, mientras que la depresión de los 7 kHz reduce su nivel en 2,5 dB.
- El pico en los 10 kHz disminuye en un 1 dB, mientras que el pico de los 13 kHz aumenta radicalmente en 10 dB.
- En los 15 kHz el valle decrece en 4 dB y finalmente el pico de los 18 kHz disminuye 2 dB mientras que las frecuencias superiores sufren una baja uniforme de 5 dB.
- En el lado derecho existe un aumento significativo en los 70 Hz de 5 dB, pero por los 90 Hz disminuye 2 dB.
- A los 150 Hz se aprecia otro incremento de 3 dB.
- Por los 300 Hz en la Fig. 4.18 se puede ver que sobre la elevación existe una pequeña hendidura, esta disminuye en 4 dB, dejando la elevación casi plana.
- Por los 400 Hz la depresión actual disminuye en 4 dB.
- En los 500 Hz aparece un pico, este se eleva 3 dB e inmediatamente las siguientes frecuencias decaen abruptamente en 13 dB, dejando un par de depresiones.
- Después desde los 550 Hz hasta los 1,5 kHz el espectro incrementa su nivel en un promedio de 5 dB, mientras que por 1 kHz la depresión puntual desaparece al aumentar 15 dB.
- En los 2,5 kHz disminuye el pico en 4 dB.
- En las frecuencias superiores no se aprecia mucho cambio hasta llegar a los 13 kHz donde se evidencia que en un rango de 5 kHz, es decir de

los 13–18 kHz, se produce una caída grande de alrededor 6 dB, lo que deja a la respuesta de frecuencia prácticamente libre de agudos.

- En este punto donde la oreja derecha está completamente opuesta a la fuente, es el punto máximo de sombra que puede ofrecer la cabeza a un oído, esto claramente se ve reflejado al tener 40 dB menos en las frecuencias agudas que en las medias, lo que muestra las frecuencias a las que afecta la cabeza, y también cómo lo hace la oreja al recoger las ondas sonoras en los diferentes ángulos, se procederá con la comparación del resto de cuadros para poder verificar la similitud entre los dos oídos.



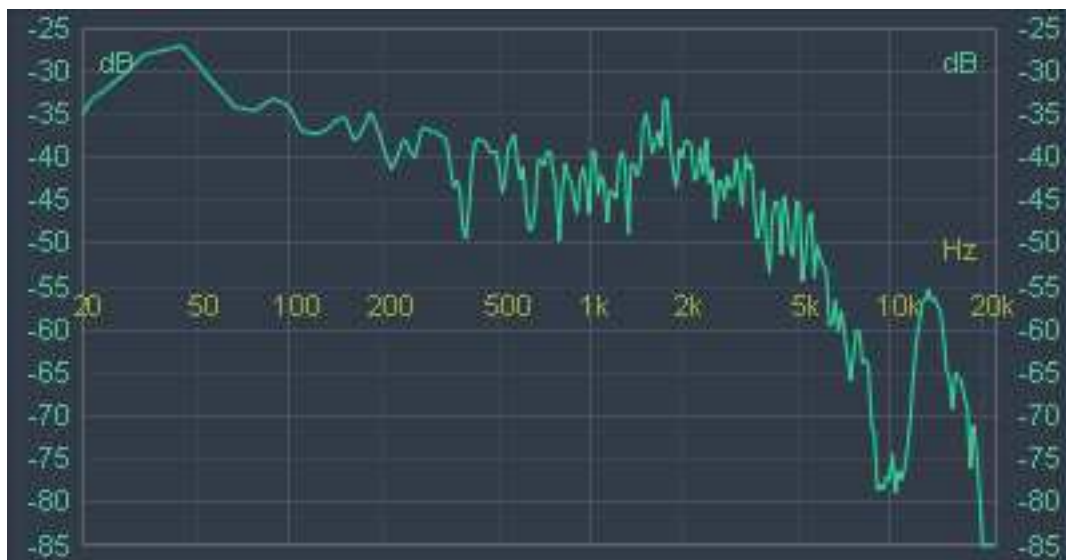
*Fig.3.21 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro de la cabeza real a -22,5°.*



*Fig.3.22 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro de la cabeza real a  $-22,5^\circ$ .*

- Comparando a esta medición con la anterior medición de  $22,5^\circ$  se puede ver claramente que en el lado izquierdo de esta coincide prácticamente en su totalidad con la Fig. 3.14 y el lado derecho al ser comparado con la Fig. 3.13 coincide de igual forma, esto es debido a que son las mismas posiciones pero en ángulos opuestos, y la cabeza humana real estaría ejerciendo la misma sombra acústica al oído contrario.
- En el lado izquierdo se mantiene prácticamente igual, pero con un incremento general de 2 dB hasta los 2 kHz, donde esta incrementa progresivamente respecto a la anterior hasta los 5 kHz, el aumento es de alrededor de 5 dB.
- Por los 8 kHz ocurre lo contrario de lo que venía sucediendo y el pico existente disminuye en 5 dB.
- En los 18 kHz aumenta el espectro en 10 dB, en general las frecuencias agudas aumentan su nivel, debido a que se aprecia muy cercano a los 20 kHz un aumento proporcional al anterior.

- En el lado derecho se mantiene lo del lado izquierdo, existe una baja de nivel general de 2 dB, pero esta vez es hasta antes de los 2 kHz, donde existe un aumento hasta los 5 kHz de 2 dB.
- En los 7 kHz el gran valle presente disminuye 8 dB, y el pico cercano a los 10 kHz también disminuye pero en 5 dB solamente.
- La depresión igual cercana a los 10 kHz aumenta 2 dB.
- En los 15 kHz en la medición anterior se aprecia una depresión, pero en la medición actual esta se desplaza a los 16 kHz disminuyendo su nivel levemente en 3 dB y dejando el espectro hasta los 20 kHz en una pendiente.
- Hasta el momento se mantiene el efecto causado por la cabeza humana real en las mediciones de 22,5° tanto en sentido positivo como negativo, esto muestra lo que se podría esperar lo mismo en el resto de posiciones.



*Fig.3.23 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro de la cabeza real a -45°.*





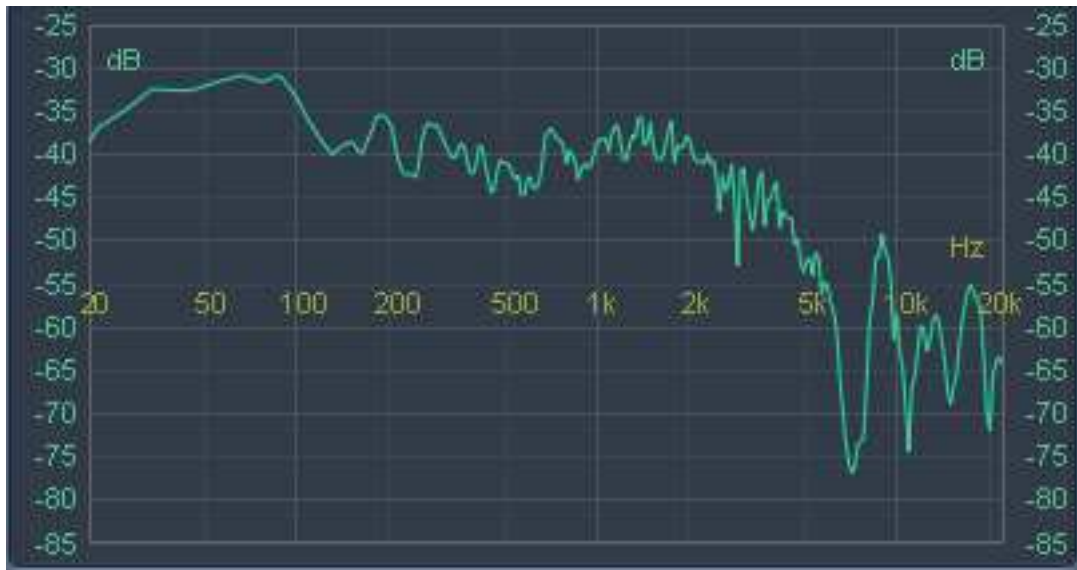
*Fig. 3.24 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro de la cabeza real a  $-45^\circ$ .*

- Comparando esta medición con la Fig. 3.16 se puede apreciar un incremento hasta los 500 Hz de todo el espectro de forma continua de 2 dB.
- Desde los 500 Hz hasta los 1,5 kHz se nota un incremento mayor, esta vez de 5 dB, haciendo que se nivelen las frecuencias comprendidas entre este rango.
- En los 1,8 kHz se observa un incremento de 2 dB, pero a partir de los 2 kHz hasta los 3 kHz se observa una baja de nivel de 4 dB.
- El espectro se mantiene igual hasta llegar a los 10 kHz donde el gran valle existente disminuye su nivel en 5 dB, el resto del espectro permanece igual.
- En el lado derecho respecto a la Fig. 3.15 se puede ver un incremento en el espectro hasta los 400 Hz de 2 dB, pero a los 150 Hz parece una pequeña variante, se incrementa un pico en 3 dB.
- Cercano a los 500 aparece un valle de 2,5 dB, y no es hasta los 1,2 kHz que aparece una depresión de 5 dB.

- Cercano a los 2 KHz aparece un ligero incremento de 3 dB, y en los 5 kHz existe un incremento de 4 dB.
- El pico de los 10 kHz disminuye 2 dB, así como lo hace la depresión cercana a los 10 kHz, pero esta lo hace en 6 dB.
- Alrededor de los 17 kHz sucede que el espectro sufre una depresión que anula el pico antes existente, la caída de 10 dB, y en los 20 kHz se aprecia un ligero cambio de 4 dB.
- Con los que respecta con la medición anterior de ángulos negativos, con las Fig. 3.21 y Fig. 3.22, se puede apreciar ligeros cambios, pero siempre enmarcados en el proceso que se observó antes, que nos deja ver que las frecuencias agudas aumentan en el oído expuesto a la fuente, y disminuyen en el oído que está siendo cubierto con la cabeza.



*Fig.3.25 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro de la cabeza real a -67,5°.*



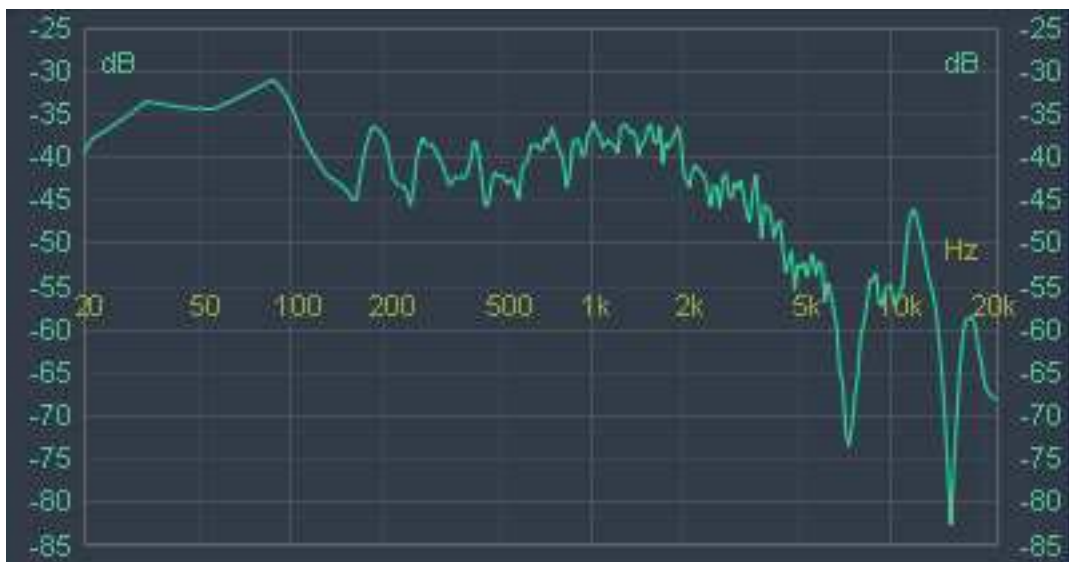
*Fig.3.26 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro de la cabeza real a  $-67,5^\circ$ .*

- Comparando esta medición con la Fig. 3.18 se puede apreciar en esta que el registro grave aumenta 2 dB hasta los 70 Hz en donde aumenta en 5 dB, pero por los 100 Hz el espectro se mantiene igual.
- Hasta antes de los 500 Hz existe un incremento de 5 dB en todo el espectro de forma uniforme, en los 500 Hz se puede apreciar un pico de 6 dB, pero cercano a estos aparece una gran depresión de ancho de banda estrecho, respecto al anterior decae en 10 dB.
- Hasta los 1,5 kHz se aplana, desapareciendo la depresión que existía antes en 1 kHz.
- A partir de aquí, tiende a decaer el espectro en una pendiente continua, disminuyendo paulatinamente hasta llegar a los 5 kHz, en una pendiente que recorre 20 dB, esto en comparación con la anterior medición indica una disminución grande en frecuencias medias.
- En las frecuencias altas, como por ejemplo los 13 kHz se desplaza la frecuencia central de la gran depresión, situándose en los 10 kHz, su nivel disminuye en 5 dB, pero su ancho de banda crece.

- En cambio en los 13 kHz ahora aparece un pico de 12 dB respecto a la medición anterior, mientras el pico de los 18 kHz se mantiene igual, así como el resto del espectro.
- En el lado derecho se usa la Fig. 3.17 para comparar, y lo primero que se nota es que el espectro en su parte grave es que hasta los 90 Hz existe un incremento de 2 dB, y no es hasta los 150 Hz que se aprecia que la depresión antes existente disminuye su profundidad en 4 dB.
- Cercano a los 600 Hz se puede ver el aparecimiento de una depresión puntual de alrededor de 3 dB.
- El espectro permanece casi prácticamente igual hasta los 3 kHz donde una depresión de ancho de banda estrecho, cambia su frecuencia central de 3,15 kHz a 2,8 kHz, y se aprecia un cambio en las frecuencias cercanas a los 3 kHz que incrementan ligeramente su nivel en 3 dB.
- En la gran depresión mostrada en los 7 kHz ocurre una disminución de nivel de 3 dB.
- Después del gran pico de los 10 kHz se aprecia el aparecimiento de un valle, cambiando el espectro de la medición anterior en 9 dB.
- En los 15 kHz la depresión disminuye su nivel en 5 dB y cercano a los 20 kHz, por los 18 kHz aparece un valle alterando el espectro en 7 dB.
- Con respecto a la medición de Fig. 3.17 y Fig. 3.18, se aprecian cambios ligeros, y como se aprecia a lo largo de todo el proceso de comparación las mediciones son congruentes entre sí, tanto en el espectro grave como en el agudo, lo que muestra que la sala no tiene problemas de modos normales, ya que esto estaría reflejado en cambio drásticos en la parte grave del espectro.



*Fig.3.27 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro de la cabeza real a  $-90^\circ$ .*



*Fig.3.28 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro de la cabeza real a  $-90^\circ$ .*

- Comparando el lado izquierdo de esta medición con la Fig. 3.20 se puede ver claramente un cambio en la parte grave, en los 70 Hz el espectro disminuye 5 dB.
- Los 150 Hz disminuyen 4 dB, por los 250 Hz aparece una depresión de 5 dB y hasta antes de los 500 Hz el espectro se mantiene igual.
- A los 500 Hz desaparece un pico de 4 dB, dejando esa parte del espectro menos irregular.
- A continuación de esto, se aprecia que desaparece, en este caso, una depresión por los 550 Hz, incrementa el espectro su valor en 10 dB.
- En 1 kHz aparece una depresión de ancho de banda estrecho de 11 dB, y alrededor de esta decaen en 5 dB las frecuencias aledañas.
- En los 1,8 kHz se aprecia un incremento de 4 dB, y cercano a este, por los 2 kHz se puede ver claramente el apareamiento de un pico de ancho de banda estrecho, el mismo que cambia el espectro en 4 dB.
- El resto del espectro se mantiene igual, hasta llegar a los 15 kHz, donde sucede un incremento de 6 dB, y junto a este ocurre otro incremento en el espectro, esta vez por los 18 kHz, cambiando en 3 dB.
- Con esta medición se concluyen las mediciones de la cabeza humana real, las cuales a grandes rasgos dicen que la cabeza afecta al sonido reduciendo las frecuencias graves, en los 500 Hz también reduce el espectro, pero en un ancho de banda muy estrecho, al igual que en 1 kHz, pero desde los 1,5 kHz se aprecia un drástico cambio hasta los 5 kHz, donde tomando a los 3 kHz como frecuencia central se ve un incremento en alrededor de 20 dB. Después alrededor los 10 kHz se puede ver una gran caída desde los 5 kHz que disminuye la respuesta del espectro en 35 dB, posteriormente en las frecuencias superiores por los 13 kHz vuelve a subir el nivel, pero para decaer abruptamente en los 18 kHz. Estas frecuencias centrales de incrementos y depresiones variaron en algunas mediciones, seguramente por la influencia de los micrófonos dentro del canal auditivo y pequeños movimientos posiblemente causados al cambiar el ángulo de incidencia de la fuente.

### 3.4.3 Gráficos de frecuencia obtenidos de las mediciones en los micrófonos dentro del *dummy head*

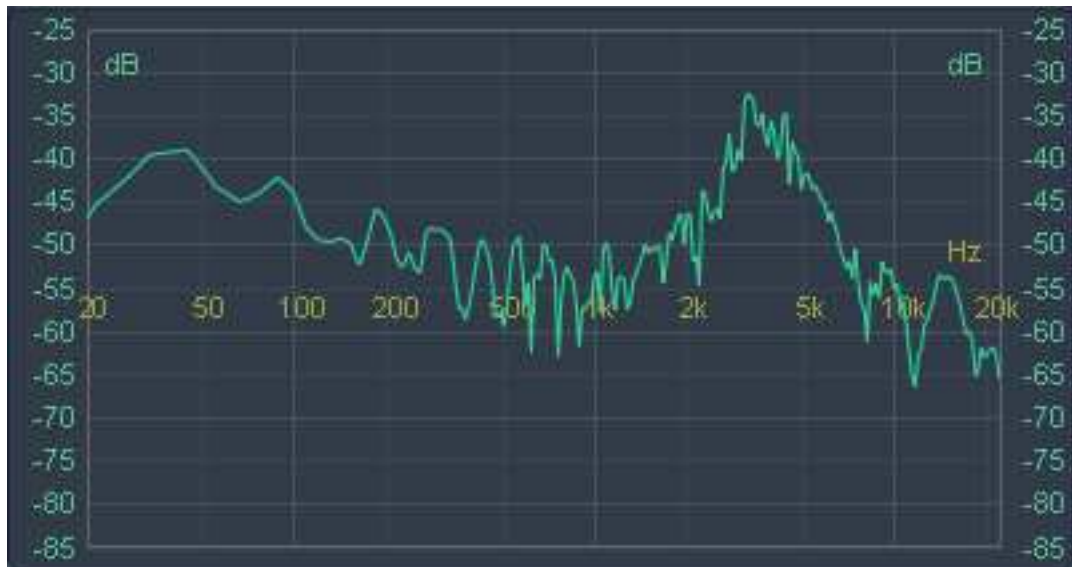


Fig.3.29 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro del *dummy head* a 0°.

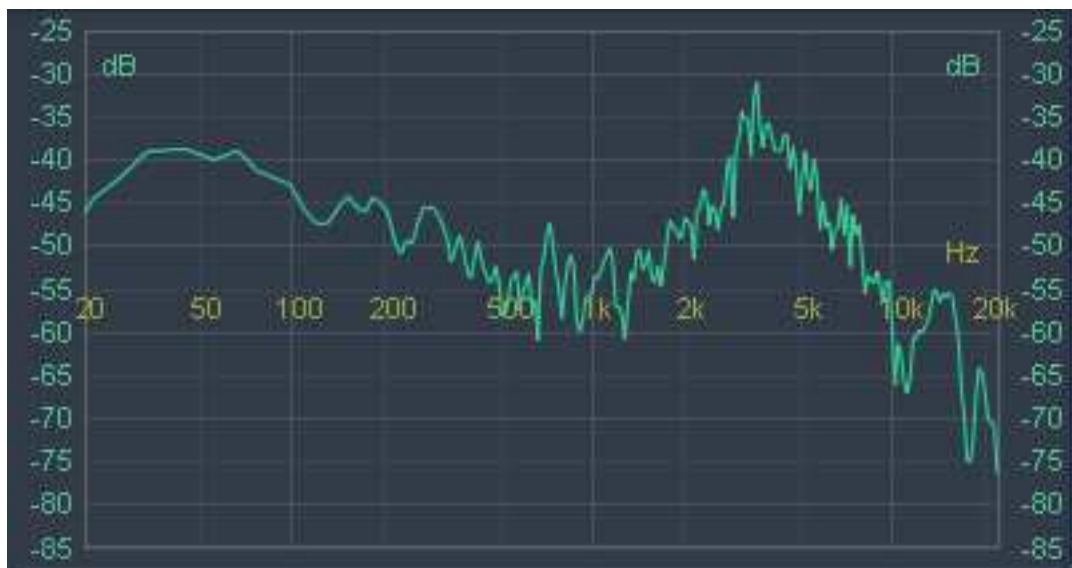


Fig. 3.30 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro del *dummy head* a 0°.

- Comparando estas muestras con las obtenidas en las mediciones Fig. 3.11 y Fig. 3.12, podemos ver diferencias grandes, empezando por el lado izquierdo, en donde se aprecia una clara disminución en la parte

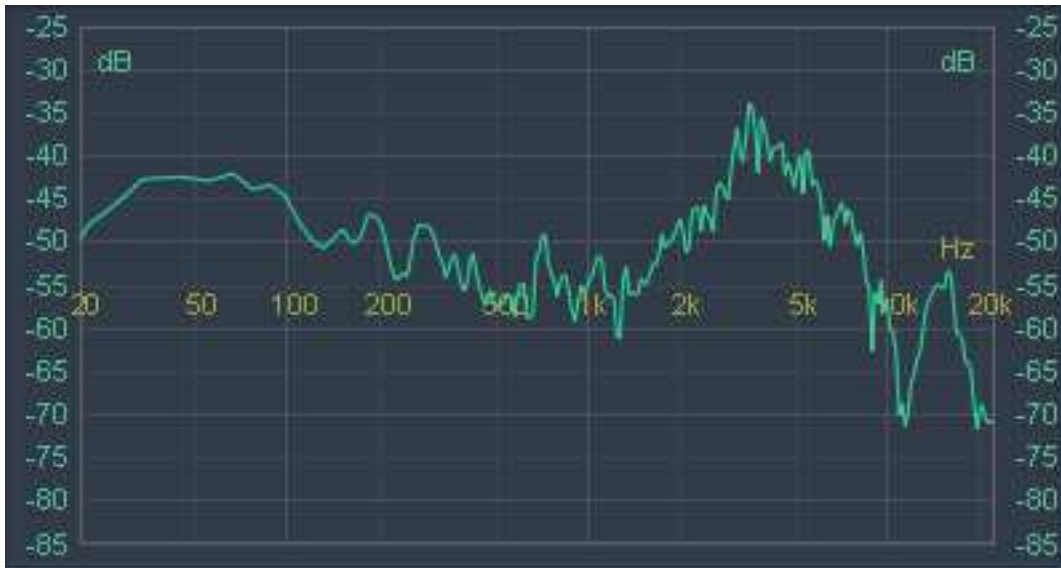


grave del espectro en 10 dB hasta los 1,5 kHz, pero sin alterar la forma de este, pero alrededor de los 700 Hz se aprecia un cambio, los picos y valles de esta forma tipo peine, incrementan alrededor de 5 dB, dejando a estos más alineados entre sí.

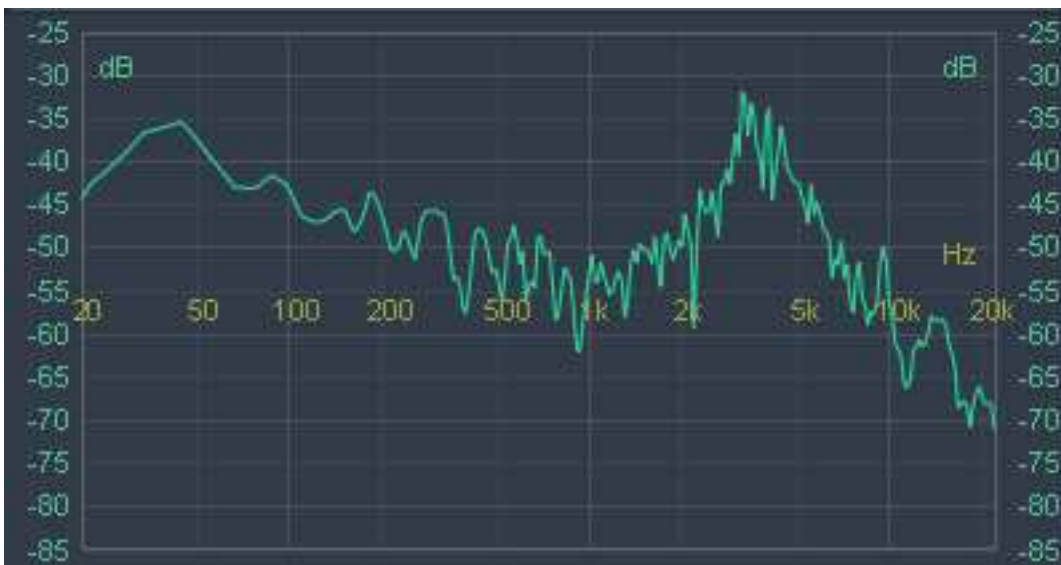
- A los 2,5 kHz se los puede tomar como el punto en donde las dos mediciones coinciden, y es precisamente aquí donde se aprecia un cambio, esta vez el espectro sufre un incremento continuo hasta los 3,1 kHz de 10 dB.
- Después de este aumento se observa un decaimiento, pero a diferencia de la anterior medición, donde el decaimiento tenía su punto más bajo en los 7 kHz con un nivel de -82 dB, esta vez la pendiente tiene una caída menos pronunciada y extiende su punto más bajo a los 8 kHz con tan solo -62 dB, corriendo la frecuencia central 1 kHz y guardando una diferencia de 20 dB ante la medición anterior.
- Cercano a los 9 kHz el pico presente se mantiene de la medición anterior, pero aumenta en 3 dB.
- Por los 11 kHz antes se podía apreciar una depresión, ahora esta se ha desplazado hacia los 12 kHz y ha recortado su nivel en 5 dB.
- En los 13 kHz antes se encontraba presente un pico, este se desplaza hasta los 15 kHz variando su nivel casi imperceptiblemente en 1 dB, cosa parecida sucede en los 19 kHz, esta depresión antes se encontraba cercana a los 15 kHz, desplaza su frecuencia central y reduce su nivel en 5 dB.
- Ya cercano a los 20 kHz se aprecia un aumento del espectro, la caída antes observada reduce su nivel en 6 dB.
- En el lado derecho sucede lo mismo que en el izquierdo con respecto a la disminución del nivel hasta los 300 Hz, pero se diferencian en que desde los 300 Hz hasta los 2 kHz el espectro disminuye en 10 dB.



- Alrededor de 1 kHz se aprecia lo mismo que en el lado izquierdo, los valles y picos se distancian entre sí dando un aspecto más regular entre ellos.
- El gran incremento presentado alrededor de los 2 kHz se desplaza a los 3,15 kHz, al igual que en el lado izquierdo, esta vez aparece un pico muy pronunciado en esta frecuencia, que sobresale por 5 dB del resto del espectro.
- Después de esta gran elevación, lo siguiente que se observa es que el espectro empieza una caída pronunciada hasta los 10 kHz, cosa que se existe de la medición anterior, lo que cambia es la profundidad de esta, que en la medición actual reduce su tamaño en 9 dB.
- El pico de los 15 kHz se mantiene, pero reduce su nivel en 5 dB.
- La depresión de los 18 kHz aumenta su profundidad en 5 dB, mientras en los 20 kHz se observa un ligero aumento en la pendiente, esta aumenta 6 dB.
- Se puede ver en esta medición que los rasgos más importantes son la disminución de nivel en la parte grave del espectro, un ligero cambio en la parte de 1 kHz, donde este decae un poco más. Y lo que se aprecia de forma más evidente es el gran incremento en los 3 kHz, lo cual es una muy buena señal, ya que al estar en el *dummy head* los canales auditivos completamente despejados, al contrario de las mediciones con la cabeza real, la frecuencia de resonancia del canal se ubica justamente donde se esperaba.
- Respecto a la parte aguda del espectro, se aprecian ligeros cambios en los que a niveles se refiere, y también respecto a las frecuencias centrales de los distintos valles y depresiones presentados, mismas que han sufrido ligeros desplazamientos hacia la parte superior.
- Se tiene seguir observando las próximas mediciones, para ver las coincidencias o diferencias que se vayan presentando.



*Fig.3.31 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro del dummy head a 22,5°.*



*Fig. 3.32 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro del dummy head a 22,5°.*

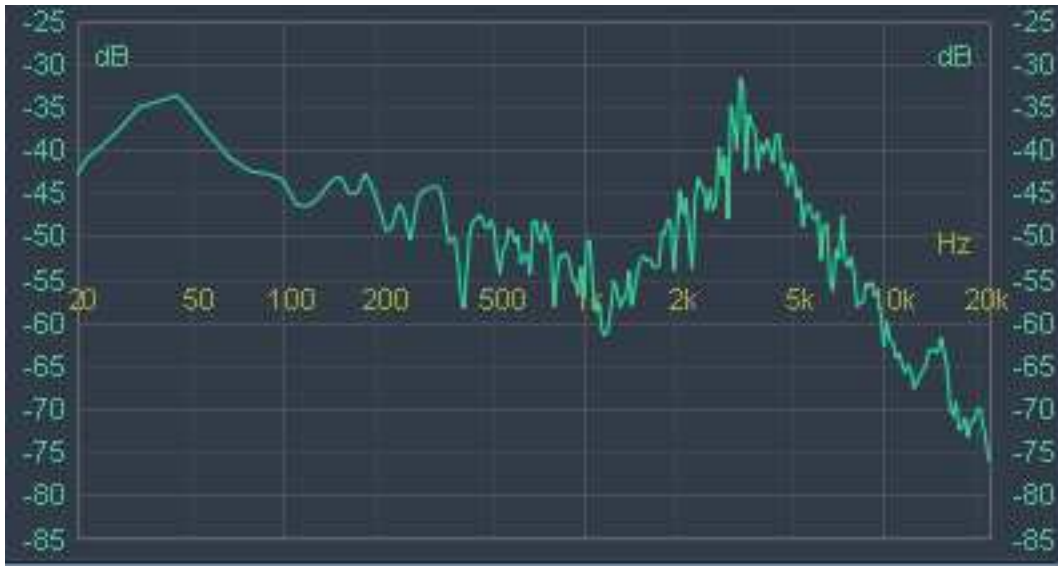
- Comparando los datos de esta medición con respecto a los de la medición Fig. 3.13 y Fig. 3.14, se puede ver que en el lado izquierdo se mantiene lo antes sucedido con el espectro grave y medio, mantiene misma forma, pero el nivel se reduce en 10 dB hasta los 1,5 kHz, pero

- antes de esto se observa el aparecimiento de una muy puntual depresión en los 1,3 kHz, que cambia el espectro en 5 dB.
- Se mantiene el pico de los 3,15 kHz presente en la anterior medición del *dummy head* Fig. 3.29, desplazando así la frecuencia central de este gran pico.
  - En la Fig. 3.13 existe una gran caída en los 7 kHz, misma que desaparece en la medición actual, pero la caída en los 10 kHz mantiene su frecuencia central y nivel, haciendo que desde los 3,15 kHz el espectro decaiga hasta los 10kHz libremente.
  - El pico antes existente en los 13 kHz ahora desplaza su frecuencia central a los 15 kHz manteniendo el nivel anterior.
  - Después del último pico, en la medición actual, el espectro decae 17 dB hasta los 20 kHz, eliminando todos los valles y picos anteriores.
  - En el lado derecho, se mantiene la baja de nivel hasta los 800 Hz en 5 dB, desde los 800 Hz hasta los 1,5 kHz la reducción es de 10 dB.
  - En 1 kHz aumenta de nivel una depresión, baja en 4 dB respecto a las frecuencias aledañas.
  - En los 2 kHz aparece otro valle de ancho de banda estrecho, esta vez disminuyendo su nivel en 12 dB.
  - El pico de los 3,15 kHz presente en la anterior medición del *dummy head* Fig.3.30, se mantiene.
  - Después de este pico, el espectro decae hasta alrededor de los 10 kHz, en donde a diferencia de la medición de la Fig. 3.14, aparece un pico, que aumenta en 20 dB.
  - El pico en los 11 kHz se mantiene en frecuencia, pero reduce su nivel en 10 dB, lo mismo sucede con el pico de los 15 kHz, que se mantiene en su frecuencia central, pero su nivel se reduce en 5 dB.

- El valle de los 18 kHz se mantiene sin ninguna variación, y en la parte superior del espectro cercano a los 20 kHz se mantiene regular, situación que en la anterior medición no sucedía, ya que decaía hasta anularse.
- Se sigue observando en este punto de medición que la tendencia a tener un espectro reducido en graves se mantiene, así como el incremento en los 3,15 kHz, lo que será una constante en todas las mediciones del *dummy head*, ya que esto es causado por el canal auditivo.



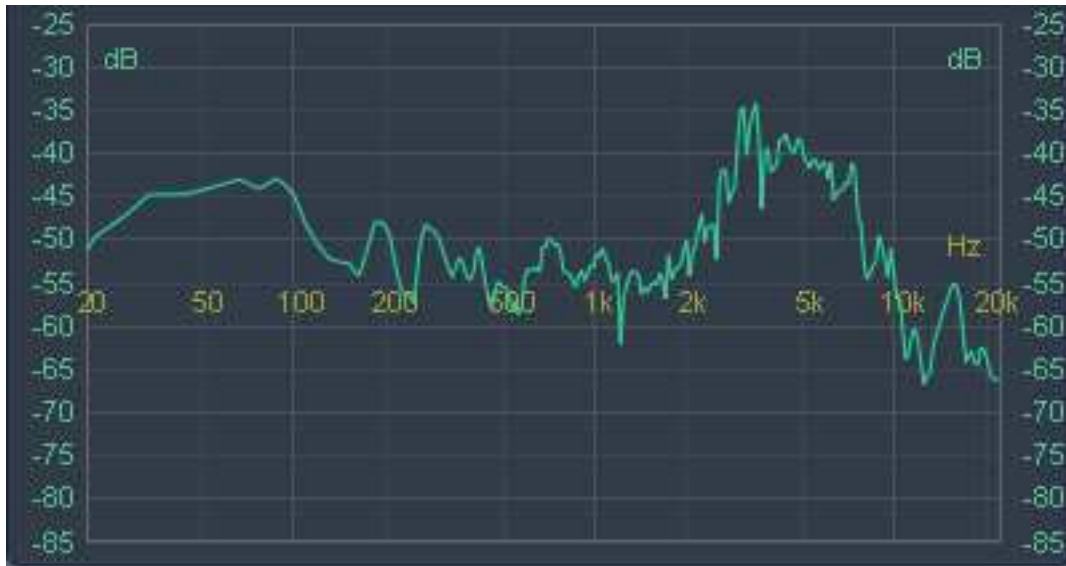
*Fig.3.33 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro del dummy head a 45°.*



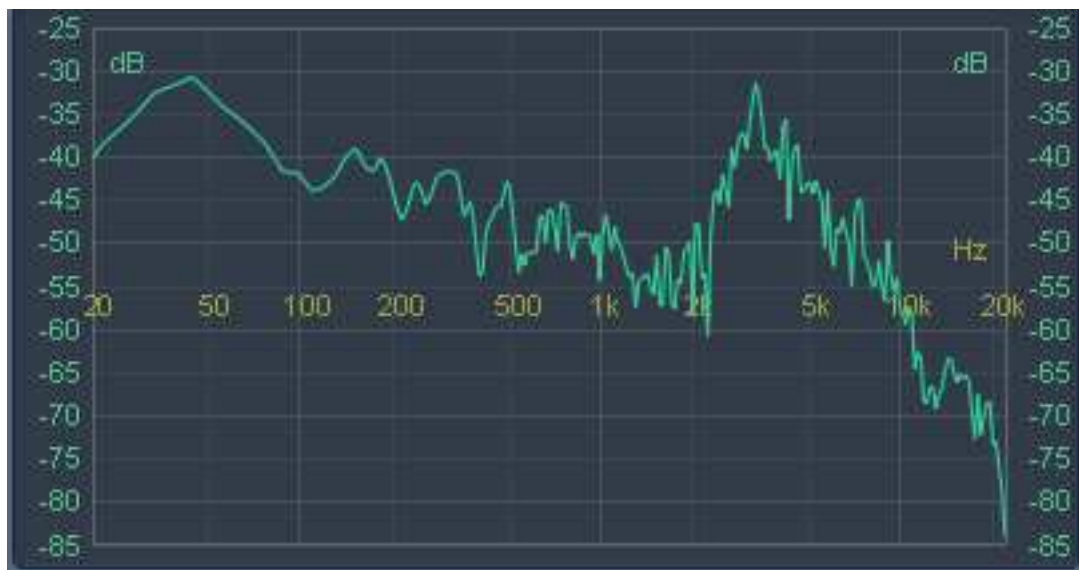
*Fig. 3.34 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro del dummy head a 45°.*

- Comparando estas mediciones con las Fig. 3.15 y Fig. 3.16, en el lado izquierdo se puede observar que persiste la disminución de nivel hasta los 1,5 kHz de 15 dB, pero sin alterar la forma del espectro, con una excepción a los 1,2 kHz, donde aparece un valle de 13 dB.
- Persiste el gran incremento desde los 2 kHz hasta los 8 kHz, teniendo como frecuencia central los 3,15 kHz, pero esta vez el punto máximo se extiende casi los 5kHz.
- Después de esto, el espectro decae hasta su punto más deprimido a los 10 kHz, y comparado con la anterior medición Fig. 3.15, se observa que la depresión en los 7 kHz desaparece por completo, esto mismo se ha visto en las anteriores mediciones. La depresión de los 10 kHz incrementa su valor en 3 dB.
- Lo siguiente que se observa es un pico alrededor de los 15 kHz, mismo que en la medición anterior era una depresión, por lo que cambia en un nivel de 15 dB.

- Después de los 15 kHz, se observa una caída constante de 23 dB hasta los 20 kHz, contrario a los que se observa en la medición anterior, donde decaía 15 dB y volvía a subir.
- En el lado derecho, sucede lo mismo que se ha venido a observando, el espectro mantiene su misma forma, pero disminuye su nivel hasta los 1,5 kHz, esta vez la disminución es de 6 dB.
- La depresión de alrededor los 1,2 kHz sigue siendo una constante, y esta vez comparado con las frecuencias aledañas, el nivel disminuye en 10 dB.
- Posteriormente el espectro inicia una subida constante hasta los 3,15 kHz, la subida es de 30 dB, a parte superior de este incremento es de un ancho de banda muy estrecho.
- A partir de los 4,5 kHz el espectro decae hasta los 13 kHz de forma constante, esta frecuencia ha recorrido 3 kHz respecto a la anterior medición donde se ubicaba en los 10 kHz. La diferencia de nivel entre estos dos puntos es de 12 dB.
- A los 15 kHz se observa un pico, mismo que está presente en la anterior medición pero se observa una disminución de 6 dB.
- En los 18 kHz, en la medición actual se observa un punto en el cual el espectro incrementa su nivel en 2 dB hasta los 20 kHz, incremento que no se observa en la anterior medición donde a partir de los 15 kHz cae el espectro hasta los 20 kHz tendiendo a desaparecer.
- Se observa una relación congruente entre las mediciones del *dummy head* con una tendencia marcada ante las mediciones reales, disminución en la parte baja del espectro, una disminución pronunciada alrededor de 1 kHz, un incremento grande desde los 2 kHz hasta los 8 kHz teniendo como frecuencia central los 3,15 kHz, lo cual está estrechamente ligado al canal auditivo; posteriormente las caídas presentadas se hacen más estables, teniendo menos depresiones y picos que en las mediciones de la cabeza humana real.



*Fig.3.35 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro del dummy head a 67,5°.*



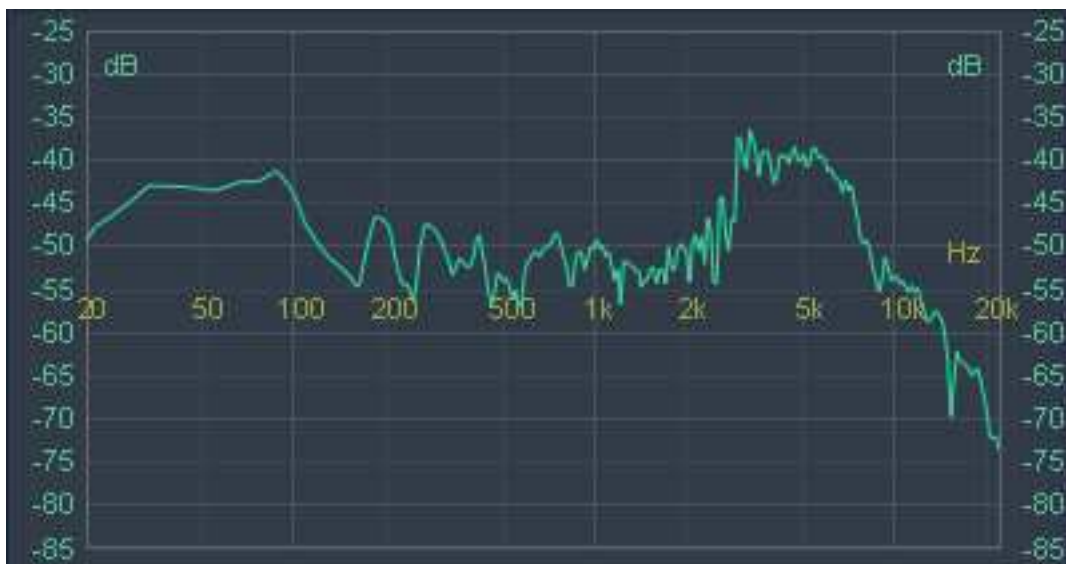
*Fig. 3.36 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro del dummy head a 67,5°.*

- Comparando esta medición con las mediciones Fig. 3.17 y Fig. 3.18, se puede observar en el lado izquierdo lo que se viene dando en las anteriores, que es la disminución de nivel hasta los 1,5 kHz pero esta vez en con un nivel de 18 dB.

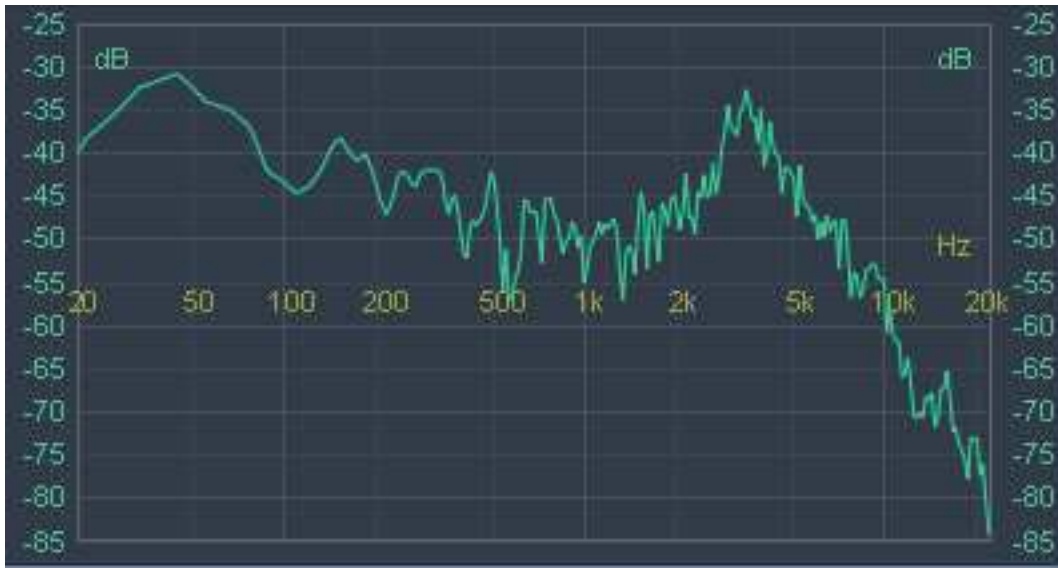
- En 1,2 kHz decae en 6 dB la depresión que antes se puede observar, esto también se puede observar en las anteriores mediciones del *dummy head*.
- En los 2,5 kHz aparece una depresión de ancho de banda muy estrecho, esta decae en 5 dB.
- El gran pico presente en estas mediciones de *dummy head* a los 3,15 kHz muestra un incremento en su ancho de banda en la parte superior, y al contrario de lo que se viene observando con la caída desde los 3,15 kHz hasta los 10 kHz, ahora el pico se extiende hasta los 7,5 kHz, para desde ahí empezar a disminuir hasta los 11 kHz con moderadas depresiones en los 6,5 kHz y 8 kHz de 5 dB.
- En los 7 kHz en la Fig. 3.17 se observa que el gran valle desaparece, manteniendo así las tendencias anteriores en las mediciones del *dummy head*.
- A los 15 kHz la depresión antes existente cambia su frecuencia central a los 13 kHz donde incrementa su valor en 9 dB.
- Desde los 15 kHz se parecía que los picos y valles anteriormente existentes mantienen su forma, cambiando su frecuencia central y nivel ligeramente.
- En el lado derecho se observa un cambio en la tendencia que se venía dando en las mediciones anteriores del *dummy head*, esta vez en comparación con la Fig. 3.18 se puede observar claramente que los cambios son muy ligeros, por ejemplo en el espectro grave, antes la diferencia era de 6 dB, y ahora es de solamente 3 dB.
- La caída alrededor de 1 kHz se mantiene la caída del espectro de las anteriores mediciones del *dummy head*, pero esta vez la caída es de 2 dB.



- El incremento de los 3,15 kHz cambia respecto a la medición real, en que el ancho de banda anterior era desde los 1,5 kHz hasta los 5,5 kHz y el actual se desplaza de 2 kHz hasta los 8 kHz; en el punto más alto de este pico, destaca una elevación muy puntual en las dos mediciones presente, pero en la actual desplaza su posición de 2,1 kHz a 3,15 kHz.
- En la medición de la Fig. 3.18, se observa una caída en los 13 kHz, que esta vez se desplaza a los 12 kHz y disminuye su nivel en 15 dB.
- Desde los 15 kHz se observa un aumento del espectro de 10 dB, mismo que va decayendo hasta los 20 kHz, con una diferencia de nivel entre estos dos valores de 5 dB.



*Fig.3.37 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro del dummy head a 90°.*



*Fig. 3.38 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro del dummy head a 90°.*

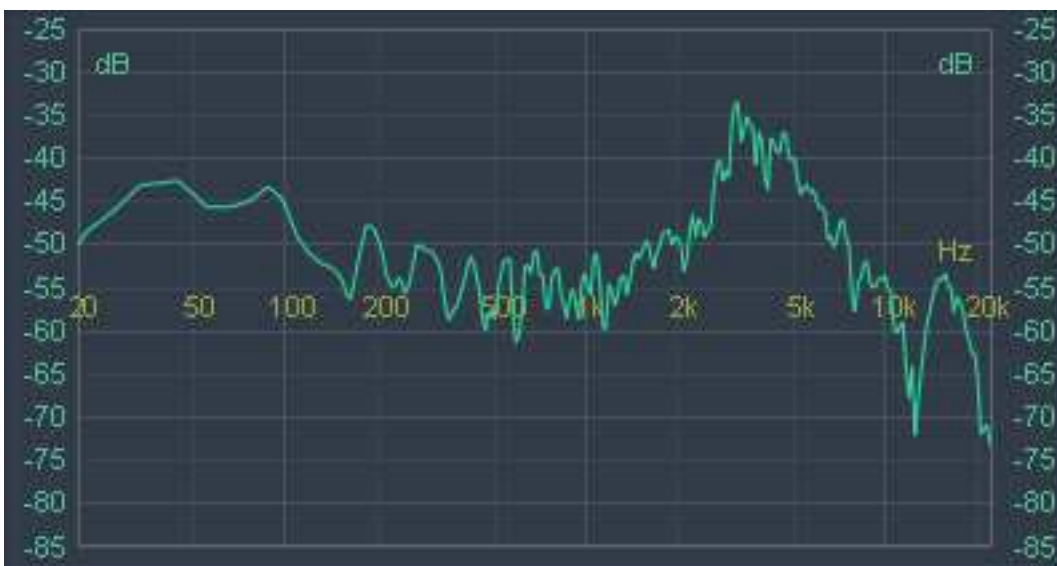
- Comparando estas mediciones con las Fig. 3.19 y Fig. 3.20, se puede observar que en el lado izquierdo el espectro mantiene la forma hasta 1 kHz, pero disminuye su nivel en 10 dB hasta los 500 Hz y 15 dB desde los 500 Hz hasta los 1,5 kHz. Tendencia que se ha mantenido a lo largo de todos los puntos de medición del *dummy head*.
- Desde los 2,5 kHz hasta los 8 kHz el espectro incrementa su nivel, lo que se ha visto antes también y se puede atribuir al canal auditivo, el punto más alto se encuentra en los 3,15 kHz, y se puede observar claramente que no coincide con el centro de la elevación.
- En los 9 kHz se aprecia una depresión puntual de 5 dB.
- En los 15 kHz se observa un valle de ancho de banda muy estrecho, después de este el espectro sigue decayendo hasta los 20 kHz, la diferencia desde los 5 kHz, que es desde donde empieza a decaer el espectro, hasta los 20 kHz es de 35 dB.
- A lo largo de estas mediciones, se puede observar que mientras más expuesto el oído a la fuente, existe un incremento en las frecuencias

desde los 5 kHz hasta los 10 kHz, lo que no indica que se está exponiendo directamente el micrófono la fuente.

- Se observa de igual manera que el espectro grave no tiene cambio alguno, lo que también nos indica que el oído en las frecuencias graves se comporta omnidireccionalmente.
- En el lado derecho, comparando con la Fig. 3.20, observa que hasta los 1,5 kHz el espectro se mantiene con la misma forma, disminuyendo en su nivel nada más, lo hace en 4 dB.
- Desde los 2,2 kHz empieza un aumento de éste hasta los 3,15 kHz en un nivel de 13 dB.
- A partir de los 3,15 kHz empieza el decaimiento del espectro hasta los 13 kHz, al igual que en la medición anterior, con la diferencia que el punto más bajo de la medición en el *dummy head* es 20 dB superior al de la cabeza real.
- En los 16 kHz se observa un incremento de 30 dB, y después de esto el espectro decae hasta los 20 kHz en 13 dB.
- Esta última medición del *dummy head* en sentido horario, nos muestra claramente el movimiento al que estuvo sometido éste, mostrando una baja paulatina en los agudos, efecto causado por la oposición de la oreja a la fuente, lo que hace que la cabeza del *dummy head* haga sombra acústica al micrófono colocado al final del canal auditivo.
- Como observación general se puede decir que en este hemisferio del *dummy head* se presentó una baja de nivel en las frecuencias graves, una disminución un poco más pronunciada alrededor de 1 kHz, lo más notorio en estas mediciones fue el incremento de los 3,15 kHz, mismo que presenta un ancho de banda extenso, abarcando hasta 6 kHz pero manteniendo su frecuencia central en los 3,15 kHz.



*Fig. 3.39 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro del dummy head a  $-22,5^\circ$ .*

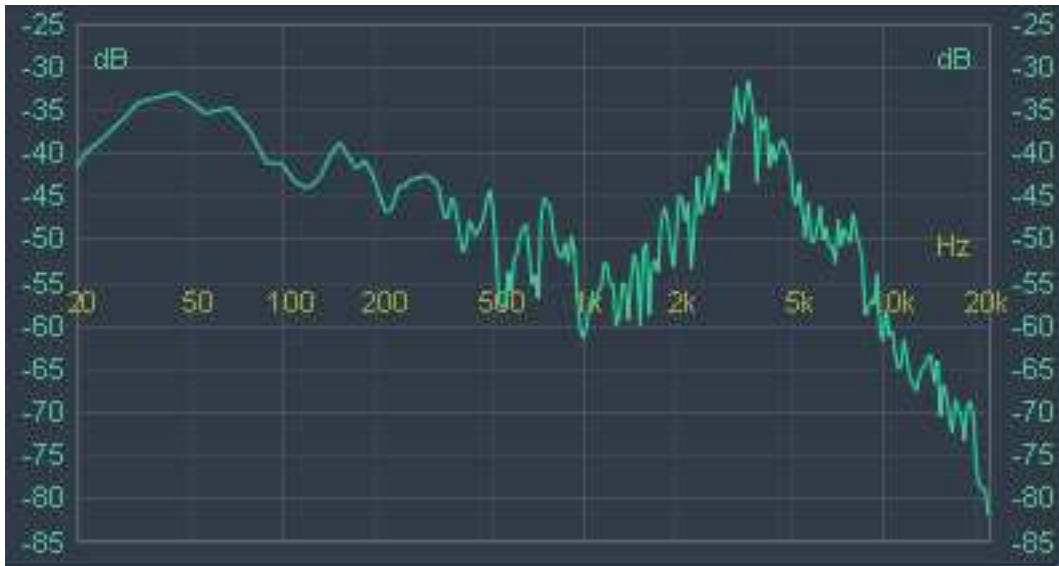


*Fig. 3.40 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro del dummy head a  $-22,5^\circ$ .*

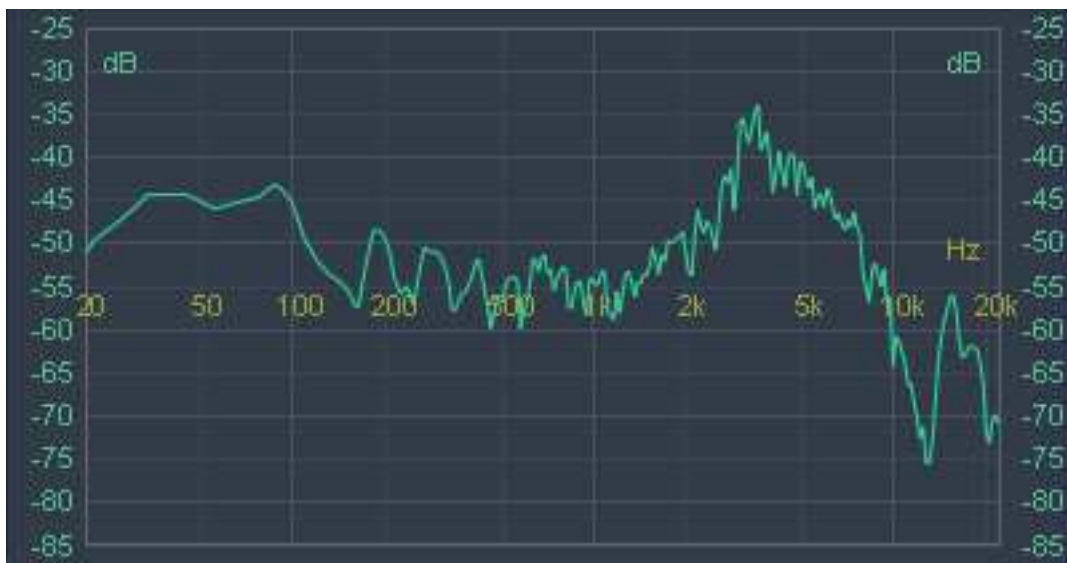
- Comparando este punto de medición con las mediciones Fig. 3.21 y Fig. 3.22, se puede ver en el lado izquierdo sucede algo parecido de lo que sucedía en el hemisferio positivo, en el espectro grave no se aprecia una variación significativa en la forma, pero si en nivel, esto se ve reflejado

hasta los 250 Hz en donde el espectro baja 5 dB, a partir de los 250 Hz hasta los 1,5 kHz el espectro baja en 10 dB.

- En los 3,15 kHz se aprecia la frecuencia central de un incremento grande, el mismo que se viene observando en todas la mediciones en el hemisferio positivo.
- En los 7 kHz se aprecia un incremento de 5 dB.
- El espectro decae constantemente hasta los 11 kHz, lo cual comparado con la medición en la cabeza real significa la desaparición de la gran depresión antes existente en los 10 kHz.
- En los 15 kHz se aprecia un aumento pequeño desde los 11 kHz de 4 dB, posterior a este el espectro decae hasta los 20 kHz en un nivel de 25 dB.
- En el lado derecho se observa la misma tendencia antes expuesta, el espectro disminuye su nivel en 10 dB hasta los 1,5 kHz.
- A partir de los 2 kHz aumenta constantemente hasta los 3,15 kHz con una diferencia de 16 dB.
- Después de esta subida, el espectro empieza su decaimiento hasta los 13 kHz con una diferencia de nivel de 37 dB, pero a los 8 kHz se aprecia una caída de ancho de banda moderado de 7 dB.
- El pico antes existente en los 13 kHz desplaza su frecuencia central hasta los 15 kHz, disminuyendo su nivel en 2 dB, a partir de este punto el espectro decae 17 dB hasta llegar a los 20 kHz.



*Fig. 3.41 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro del dummy head a  $-45^\circ$ .*



*Fig. 3.42 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro del dummy head a  $-45^\circ$ .*

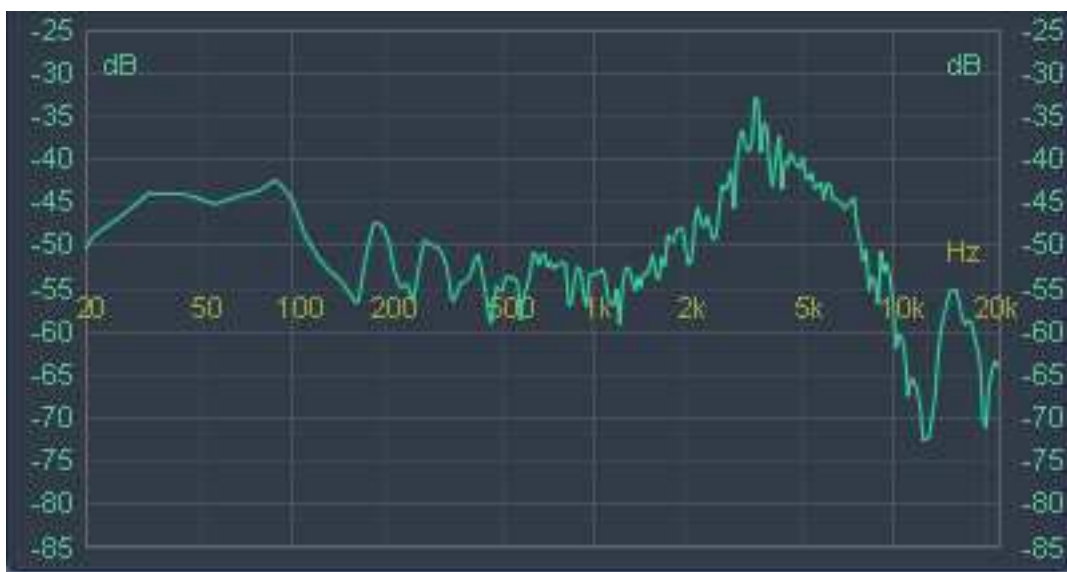
- Comparando estas muestras con las mediciones Fig. 3.23 y Fig. 3.24, se aprecia exactamente lo mismo que en las mediciones anteriores, la disminución en el espectro hasta los 500 Hz de 5 dB, desde los 500 Hz hasta 1 kHz la disminución es de 10 dB, y de 1 kHz hasta los 1,5 kHz aumenta, siendo en este caso de alrededor de 16 dB.

- Se observa un incremento hasta los 3,15 kHz de 18 dB.
- Lo que cambia en esta medición es que la caída posterior a los 3,15 kHz es constante hasta los 20 kHz, disminuyendo el nivel en 48 dB, pasando por un pequeño pico a los 8 kHz de 4 dB, y una depresión de ancho de banda estrecho a los 9,5 kHz de 4 dB igualmente.
- Desaparece la depresión en los 10 kHz presentada en la medición de la cabeza real.
- Hasta el momento se mantiene lo antes visto, el *dummy head* se comporta de manera similar.
- En el lado derecho, se mantiene la tendencia, hasta 1 kHz el espectro disminuye 13 dB.
- Desde los 1.1 kHz el espectro empieza su ascenso hasta los 3,15 kHz, incremento el nivel en 20 dB.
- Pasando el punto más alto de este pico, empieza el decaimiento hasta los 13 kHz, pasando por un par de elevaciones pequeñas y puntuales a los 7 kHz y 9 kHz de 3 dB ambas.
- Después de la depresión el espectro sube hasta los 15 kHz aumentando de nivel en 20 dB.
- Luego decae en una pendiente pronunciada hasta los 20 kHz, pasando por una pequeña elevación en los 19 kHz, respecto al punto más alto en los 15 kHz ya a los 20 kHz el espectro ha disminuido 17 dB.
- En este punto de medición, se puede ver claramente que la tendencia vista en los anteriores puntos de este hemisferio negativo y en los del hemisferio positivo se mantiene, con ligeros cambios en cada, pero globalmente mantiene el mismo patrón.
- En el lado izquierdo la pérdida de agudos es debido a que el oído izquierdo se encuentra bajo la sombra acústica causada por la cabeza del *dummy head*, en los posteriores puntos, es disminución se hará más pronunciada.





*Fig. 3.43 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro del dummy head a  $-67,5^\circ$ .*

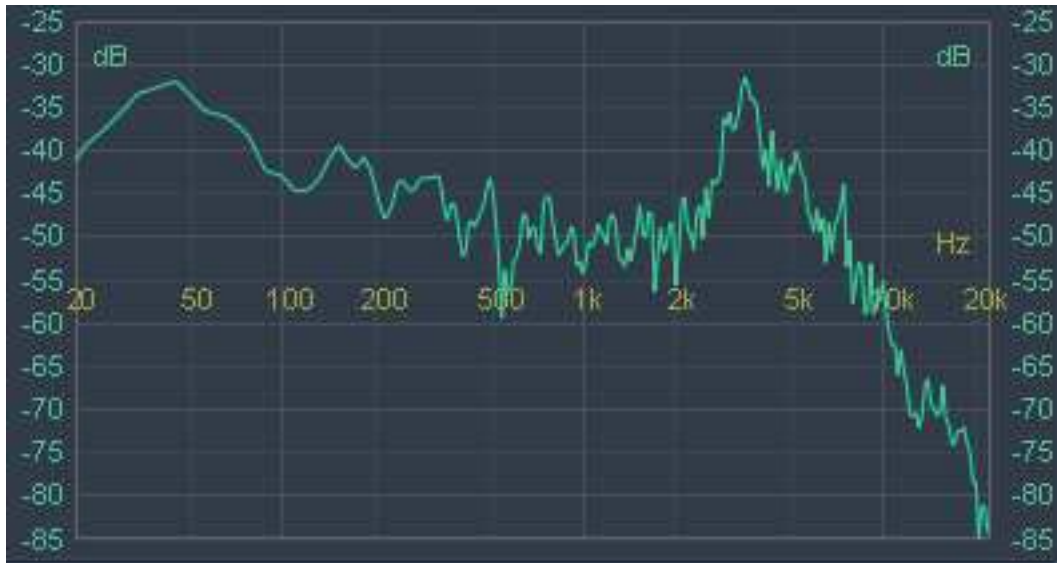


*Fig. 3.44 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro del dummy head a  $-67,5^\circ$ .*

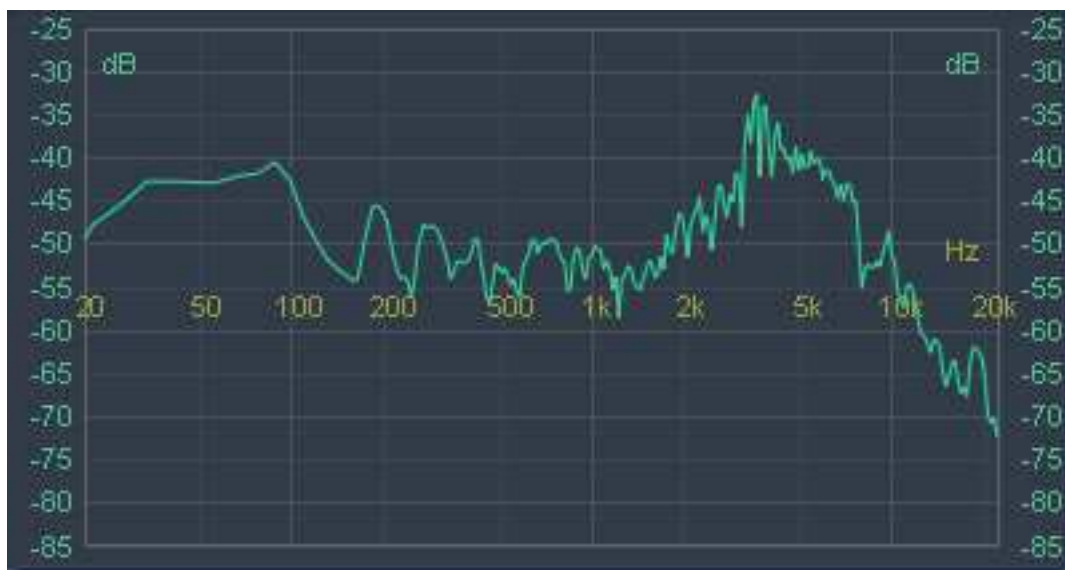
- Comparando con las mediciones de las Fig. 3.25 y Fig. 3.26, en el lado izquierdo podemos apreciar la misma tendencia que ha sido una constante, el espectro mantiene su forma, pero su nivel disminuye, esta vez lo hace hasta 1 kHz, disminuyendo el nivel en 6 dB.
- A partir de 1 kHz hasta los 1,5 kHz disminuye en 10 dB.



- En los 500 Hz en la medición de la cabeza real se aprecia una depresión de 15 dB, misma que reduce su profundidad en 5 dB.
- Desde los 1,5 kHz hasta los 3,15 kHz se aprecia un incremento, el aumento es de 26 dB.
- La caída desde el punto más alto a los 3,15 kHz se extiende continuamente hasta los 20 kHz, pasando por una elevación a los 7,5 kHz de 8 dB, y otra a los 15 kHz de 6 dB.
- En el lado derecho, el espectro se reduce en 15 dB hasta los 500 Hz, y desde este punto hasta los 1,5 kHz éste disminuye en 15 dB.
- Se observa un incremento constante desde los 1,5 kHz hasta los 3,15 kHz, la diferencia entre estos dos puntos es de 17 dB.
- A partir de los 3,15 kHz el espectro cae hasta los 13 kHz, la diferencia de nivel entre estos puntos es de 40 dB.
- Alrededor de los 7 kHz y los 9 kHz aparecen unos picos, de 2 dB y 7 dB respectivamente.
- A los 15 kHz se aprecia un pico, que se eleva desde los 13 kHz, con una diferencia de estos dos puntos de 17 dB.
- Posterior a este punto decae el espectro hasta los 20 kHz en 14 dB.
- El aumento en los medios altos en la medición derecha y la disminución del espectro agudo en la izquierda, son evidencia que cada vez el *dummy head* apunta a la fuente con la oreja derecha y se opone a ésta con la izquierda.
- Se espera que en la próxima medición estas características aumenten, para así guardar congruencia entre las mediciones del otro hemisferio.



*Fig.3.44 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono izquierdo dentro del dummy head a -90°.*



*Fig. 3.45 - Gráfico de frecuencia obtenido de la medición en el micrófono derecho dentro del dummy head a -90°.*

- Comparando a este punto de medición con las Fig. 3.27 y Fig. 3.28, se puede observar claramente en el lado izquierdo que, como se esperaba, se mantiene la misma tendencia de las anteriores mediciones.
- El espectro se mantiene con la misma forma, pero su nivel baja, en este caso hasta los 1kHz se reduce en 5 dB.

- En los 500 Hz aparece una depresión con una profundidad de 15 dB.
- Desde los 500 Hz hasta los 1,5 kHz el espectro se reduce únicamente en 3 dB.
- En la medición de la cabeza real se observa un pico muy pronunciado en los 2,2 kHz, a diferencia de la medición en el *dummy head* donde este pico se encuentra en los 3,15 kHz.
- La pendiente del gran pico presentado en los 3,15 kHz empieza a incrementar nivel desde los 2 kHz, a diferencia de la medición real que empieza a hacerlo desde los 1,5 kHz.
- Posterior a la este pico, el espectro empieza a decaer, y se aprecia una similitud muy estrecha entre las dos mediciones, con la diferencia que en la medición actual del *dummy head* alrededor de los 6 kHz presenta una caída en el espectro de 8 dB.
- En la medición real se aprecia que en los 13 kHz existe una depresión muy pronunciada, y en la medición del *dummy head* ésta ha incrementado su valor en 27 dB, lo que hace que la depresión se presente como un pequeño relieve.
- A los 15 kHz y a los 18 kHz se presentan unos pequeños picos de ancho de banda estrecho, de 4 dB y 3 dB respectivamente.
- Posterior a esta última elevación el espectro decae hasta los 20 kHz en 13 dB.
- Se mantiene a lo largo de las mediciones la tendencia que se ve desde la primera hasta la última medición, mostrando que el *dummy head* tiene una respuesta regular en el plano horizontal, tanto en el hemisferio derecho como en el izquierdo.
- En las dos últimas mediciones de cada hemisferio se ve una gran coincidencia con las mediciones realizadas en la cabeza humana, lo que indica que con una incidencia lateral del frente de onda, se puede tener una respuesta más apegada a la obtenida de la cabeza real.

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS ECONÓMICO

El actual proyecto implica la construcción de un modelo, por lo tanto, los gastos realizados serán los necesarios para cubrir los materiales que se requieran para la total elaboración de éste.

**Tabla 4.1** Detalle de costos para la construcción de un *dummy head*.

Descripción	Cantidad	Precio (Dólares)	Total
Micrófonos binaurales AT899	1	500,00	500,00
Modelo de orejas de silicona	2	70,00	140,00
Maniquí	1	130,00	130,00
Cable adaptador de <i>phantom power</i>	1	25,00	25,00
Plumón de alta densidad [kg]	2	3,50	7,00
Silicona de baño	2	2,50	2,50
Pintura en spray	6	2,80	16,80
Lija, cierra de tubo, tornillos, espuma de caucho, yeso	n/a	5,00	5,00
		<b>TOTAL</b>	824,30

Para la elaboración del modelo *dummy head* se usaron los materiales expuestos en la tabla, los costos de éstos pueden variar, debido a que algunos de ellos no fueron conseguidos en el país y los precios pueden sufrir un

incremento debido a los impuestos de entrada a productos, tales como los micrófonos y el cable adaptador de *phantom power*.

En el centro donde se elaboraron los modelos de oreja y canal auditivo, se obtuvo ayuda en la parte económica, y por lo tanto solamente se tuvieron que pagar los materiales para su elaboración, esto debido a una relación de amistad existente con los dueños del lugar. Para una persona que desee sacar moldes de pabellón y canal auditivo el precio será mayor, ya que se tiene que tomar en cuenta la mano de obra y las horas invertidas en el modelamiento, y como este no es un servicio que ofrece regularmente la empresa, el precio puede elevarse en gran medida, inicialmente se los cotizó de 400 a 450 dólares dependiendo del tiempo necesario para su elaboración.

Una alternativa a este elevado precio puede ser la adquisición de modelos previamente hechos, estos están disponibles en sitios web especializados en modelos de *dummy head*, tienen un costo de 100 dólares.

Algunos rubros no se toman en cuenta, como la computadora en la que se realizan las grabaciones, la interface de audio donde se digitalizan los datos provenientes del *dummy head*, los cables que llevan la señal de *dummy head* hacia la interface, e incluso rubros como licencias de programas; debido a que se analiza únicamente el costo de los materiales necesarios para su construcción, más no el de todos los elementos usados para la comprobación de su correcto funcionamiento.

#### **4.1 Relación costo beneficio**

El costo de este modelo es bajo, tomando en cuenta todas las ventajas que presenta este *dummy head*, con las cuales los gastos se llegarían a pagar en un corto tiempo. Una de estas ventajas puede ser su uso para la publicidad, en donde se lo utilizaría para la grabación de cuñas o jingles, basándose en que en la actualidad la mayoría de personas tienen un dispositivo personal para la reproducción de música y radio; se explotaría esta circunstancia haciendo

que los comerciales tengan un impacto mucho mayor en el oyente al generar un determinado ambiente, por ejemplo, para generar la imagen sonora con el fin de vender un paquete de vacaciones, se usaría sonidos existentes en una playa: el sonido del viento y el agua. Esto sería muy atractivo para un consumidor, el mismo que prestaría más atención al mensaje del comercial al sentir este cambio en su entorno.

Otra ventaja que presenta este modelo, es su utilización para mediciones de acústica arquitectónica, de esta forma se podría realizar mediciones en recintos, pero según la perspectiva de un espectador, es decir, se puede conocer mediante un micrófono de medición que en cierto punto las frecuencias graves aumentan, pero no se puede conocer de qué forma este incremento es percibido por una persona, y hasta qué punto puede ser tolerable dicho incremento, y es ahí en donde se pueden establecer parámetros mediante mediciones en distintos puntos de un recinto.

Quizá la mayor ventaja del modelo, es el muy bajo desgaste que éste sufre con el paso del tiempo, si se lo cuida de golpes y posibles situaciones que puedan derivar en daño a este, el *dummy head* tiene un uso indefinido. Si se respeta los niveles máximos de exposición a presión sonora, los micrófonos deberían funcionar por años sin sufrir ningún daño ni desgaste, y comparando un uso prolongado por largos años con el costo total para la elaboración del modelo, se puede decir que la inversión es completamente justificable y se la podría recuperar en un corto tiempo de trabajo.

## CAPÍTULO 5

### IMPLEMENTACIONES FUTURAS DEL PROYECTO

Como el modelo solamente fue analizado en el plano horizontal y en su parte frontal, se puede recomendar para futuros proyectos, el análisis de éste en el plano vertical, llegando así a generar un mapa de 360°, para de esta forma comprobar cómo afectan los materiales del modelo al frente de onda, y si es fiel a la realidad en todas las mediciones.

También se podría hacer una serie de mediciones entre los ángulos ya medidos, como por ejemplo en lugar de medir cada 22,5° se puede medir cada 5° y de esta forma poder tener resultados más detallados de la forma de cambio del espectro.

Este modelo fue construido y medido solamente con un modelo de pabellón y canal auditivo, se los podría cambiar para poder verificar a qué parte del espectro afecta cada uno de estos y así poder conocer que los cambios producidos en el *dummy head* respecto a frecuencia son debidos a la construcción del pabellón o canal auditivo, o son producto de la sombra acústica que genera la cabeza.

En lo que respecta a musicoterapia, se podría analizar el impacto y la efectividad de un tratamiento hecho con música estéreo en contra de uno hecho con grabaciones binaurales, las grabaciones binaurales serían capaces de generar atmósferas realistas lo que podría derivar en un mejor resultado en la evolución del problema del paciente.

Se podría también usar resultados de mediciones, para analizar los datos entregados tanto en fase, frecuencia y amplitud, es decir, se podría analizar cuáles son los factores que determinan que el cerebro ubique las fuentes sonoras en términos de profundidad.

Una forma en la que puede ser aplicable este *dummy head*, es para la introducción de este tipo de grabaciones al mercado nacional, es la grabación en salas reconocidas por su buena acústica, como teatros e iglesias, para de

esta forma tener grabaciones en las que se pueda apreciar el sonido global de estas edificaciones desde la perspectiva de una persona. Empezando por grabar géneros típicos del país para así ganar la aceptación del público en general.

Quito es un ciudad que posee una infinidad de edificaciones coloniales, las cuales están llenas de historia, se podría utilizar grabaciones binaurales a manera de presentación para turistas, en las cuales se hace conocer los lugares más representativos y se crea un interés en conocerlos a través de la reproducción de relatos actuados donde se relataría una historia que se atribuya a dicho lugar.



## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- Se concluye que las imágenes sonoras entregadas por medio de un par de micrófonos implementados dentro de un *dummy head*, entregan una respuesta más cercana a la percibida en términos de frecuencia y direccionalidad dentro de una cabeza real, que solamente teniendo los micrófonos sin ninguna barrera ante la señal proveniente de una fuente, ya que comparando las mediciones de los micrófonos al aire libre, dentro de la cabeza real, y dentro del *dummy head*, se ve una estrecha relación entre estos dos últimos, estando la respuesta de los micrófonos al aire libre muy lejos de éstas. Los puntos en los cuales se puede ver la mayoría de las coincidencias, son en la parte inferior del espectro hasta los 500 Hz, en donde la forma de los gráficos es exactamente igual, cambiando solamente el nivel de ésta; y el otro punto donde coinciden es en un pico de gran nivel, el mismo que se encuentra en las frecuencias medias alrededor de los 3 kHz, causado por efecto del canal auditivo, en las mediciones dentro de la cabeza real este pico aparece a los 2,2 kHz aproximado para todas las mediciones, pero en las mediciones en el *dummy head* desplaza su frecuencia central hasta los 3,15 kHz.
- Se cumplió con el objetivo de construir el modelo de pabellón y canal auditivo, así como el de construir el modelo de cabeza y torso humano, obteniendo un resultado con medidas y proporciones semejantes a las reales.
- Se obtuvo la respuesta de los micrófonos al aire libre, dentro de la cabeza real y dentro del *dummy head*, realizando las mediciones desde distintos ángulos de incidencia en el plano horizontal, como se planteó en los objetivos.

- En todas las mediciones de los micrófonos al aire libre se mantiene una relación estrecha entre ellas, lo que claramente indica el buen funcionamiento de los micrófonos, que en este caso se comportan de forma omnidireccional.
- En la mayoría de las 45 mediciones, tanto al aire libre, dentro de la cabeza real, como dentro del *dummy head* se aprecia una caída en los 500 Hz, similar a la presentada primero en los micrófonos al aire libre, y por su pequeña amplitud, lo más seguro es que se deba a una propiedad de la fuente, o bien del micrófono mismo.
- En ambos casos de medición, dentro de la cabeza real y dentro del *dummy head*, y para los dos hemisferios medidos, se observa una misma tendencia cuando la cabeza va girando, ésta muestra en el oído a favor de la fuente, un incremento en los medios y un mantenimiento en las frecuencias agudas, mientras que en la oreja que se va ocultando detrás de la cabeza se observa una caída paulatina en agudos, hasta llegar a casi desaparecer a los 90°.
- En los puntos de medición de 0°, dentro de la cabeza real y del *dummy head*, el espectro se mantiene en forma hasta alrededor de los 1,5 kHz pero disminuye en nivel; alrededor de los 3,15 kHz cambia por efecto del canal auditivo; el cambio más grande que se da entre estos, es alrededor de los 7 kHz donde varias depresiones observadas en la cabeza real desaparecen dentro del *dummy head*.
- En las mediciones de 22,5°, se observa que en estos puntos de la cabeza real y el *dummy head*, coinciden en los 0°; se presentan diferencias de nivel en la parte grave, cambios en la frecuencia central y en el gran pico causado por el canal auditivo, desplazándose a los 3,15 kHz, y desde los 7 kHz variando el espectro de gran forma.
- Las mediciones en 67,5° y 90°, muestran que son los puntos que guardan mayor cercanía entre las mediciones de la cabeza real y el *dummy head*, presentando pocas diferencias entre sí; esto indica que

mientras más lateral es la incidencia de un frente de onda, más parecidas serán las tomas entre estas, concluyendo que la densidad de la cabeza real en este punto es semejante a la del *dummy head*.

- Comparando los puntos medidos tanto en la cabeza real como en el *dummy*, se observa que el espectro grave no cambia en ninguno, lo que indica que la densidad del *dummy head* respecto a la cabeza real se comporta de la misma forma hasta los 1,5 kHz.
- Se concluye que la combinación de materiales para construir el *dummy head* es correcta, debido a su similitud en las frecuencias graves y medias graves, ya que si los materiales usados afectaran de alguna manera, esto se vería reflejado en una baja en el espectro en un rango de frecuencia determinado.
- Sobre los 2 kHz existe un desplazamiento en todos los puntos, esto se debe a que el canal auditivo está completamente despejado en el *dummy head*, y su frecuencia de resonancia es de 3,15 kHz, lo que no sucede en con la cabeza real, ya que los micrófonos se encuentran dentro, cambiando la compliancia acústica del mismo, y en algunas mediciones se observa una especie de filtro en forma de peine, esto puede ser el efecto de lo que se experimentó durante las mediciones con intenso dolor dentro del canal auditivo.
- Sobre los 10 kHz las frecuencias no poseen suficiente energía como para atravesar el rostro ni los huesos, por lo tanto, no atravesarán tampoco al *dummy head*; lo que lleva a analizar qué otro factor podría hacer que se de este cambio tan radical en la parte aguda del espectro. Si en las mediciones de 67,5° y 90° el espectro es prácticamente igual, y lo que cambia entre los puntos menores a 67,5° es la incidencia del pabellón auditivo, entonces se puede concluir que el material de los moldes de las orejas está afectando de cierta forma al frente de onda, además que se tiene que tomar en cuenta nuevamente que los micrófonos están dentro de la oreja, y que en el *dummy head* no se está

usando un sustituto para la cera ni los vellos del oído, lo que también es un factor para que las frecuencias agudas se mantengan más estables en las mediciones del *dummy head*, ya que la cera y los vellos dentro del canal auditivo están absorbiendo de cierta forma a las frecuencias más agudas.

- El uso de los moldes de pabellón y canal auditivo sobre una superficie externa a la cabeza del *dummy head* resultan extremadamente cómodos y efectivos, ya que el montaje fue sencillo, y la manipulación de los micrófonos resulta sencilla. Además no se aprecia un filtrado de frecuencias evidente en ninguna de las mediciones.
- Se ha comprobado con las mediciones que la cabeza del *dummy head* presenta una efectividad buena, por lo que se puede concluir que no se necesita de un cráneo humano para obtener un resultado pegado a la realidad, pero se puede ampliar el estudio de esto en futuros proyectos donde se compare un modelo creado a base de un cráneo real con el existente.
- La representación tan precisa de los modelos de pabellón y canal auditivo fue posible gracias a la selección de los materiales para tomar los moldes, el cambio de material fue crucial, ya que los detalles presentados en ellos son muy fieles a la realidad.
- El proceso de modelamiento de los modelos de pabellón y canal auditivo debe realizarse por una persona experta en el tema, ya que por el costo alto de los materiales utilizados un daño puede resultar en gastos extras y tal vez en la alteración del modelo final, lo cual cambia la forma de captación de los micrófonos desapegando al *dummy head* de la realidad.

## 6.2 Recomendaciones

Basándose en la experiencia de la construcción y medición del modelo *dummy head*, se recomienda:

- Usar una broca pequeña para hacer los agujeros en el maniquí, debido a que este es hecho de fibra de vidrio y al usar una broca superior a los 4 mm de diámetro la fibra empieza a romperse, es por eso que se escogió una broca de 1 mm de diámetro.
- Usar guantes y mascarilla en todos los procesos en los que implique que de la fibra de vidrio se levanten partículas, ya que son peligrosas para la salud.
- Usar espacios abiertos para procesos de ligado y cortado.
- Esperar el menos 24 horas después de colocada la masilla para empezar con el proceso de lijado, con el fin de permitir que esta seque de forma completa.
- Usar una lija no más grande que 250, para evitar rayar a la fibra de vidrio.
- El momento de aplicar la pintura buscar un espacio abierto para una adecuada ventilación, pero sin dejar a un lado que en la pintura fresca se pueden pegar cualquier clase de partículas, así que preferiblemente tiene que ser un lugar techado, incluso para dejar al maniquí en un lugar fijo hasta que seque.
- Las capas de pintura tienen que ser muy finas, para no dañar la fibra de vidrio. Su aplicación requiere paciencia y buena iluminación.
- El momento de rellenar al modelo, se tiene que tener cuidado con no presionar demasiado al plumón dentro del *dummy head*, ya que la fibra de vidrio podría ceder a la presión ejercida y romperse o fisurarse.

- Para colocar los micrófonos se usa como ayuda tubos de plástico del mismo diámetro de los micrófonos, esto ayuda a que el micrófono quede exactamente al final del canal auditivo, y no haya necesidad de meterlos dentro de los moldes de canal auditivo, lo tubos sobresalen 3 mm desde el diafragma, por lo que no causan ningún daño a la respuesta del canal auditivo, aparte que son del mismo diámetro del mismo.
- Para fijar los tubos de plástico al cuerpo del micrófono es preferible no usar ningún pegamento, para prevenir que este se derrame hasta alcanzar el diafragma, lo que sería muy perjudicial. Por eso se recomienda el uso de cinta adhesiva únicamente.
- El momento de colocar los tornillos, se recomienda no seguir un patrón fijo, sino buscar el relieve correcto para aplicarlo, de esta forma podemos usar menos tornillos lo que resulta mejor para no comprometer la superficie del modelo.
- Al momento de escoger un recinto para realizar las mediciones, se recomienda buscar una sala con geometría no simétrica, como por ejemplo con un techo inclinado, para de esta forma evitar modos normales.
- Al buscar un lugar dentro del recinto para la fuente y el maniquí es recomendable evitar el punto medio entre las paredes, esto ayuda también a reducir problemas con modos normales.
- Para evitar problemas en la transmisión de los datos, es recomendable usar cables que sean iguales, y que garanticen la correcta transmisión de éstos. En las primeras pruebas se utilizó un tipo diferente de cable en cada micrófono, lo que anuló completamente el efecto binaural, la señal se degrada solamente en un lado lo que implica que el cerebro ya no distingue la localización de la fuente.
- El momento de introducir los micrófonos en los canales auditivos reales, se experimentó dolor en uno de ellos, y también con el movimiento de la

cabeza para cambiar de angulación; se recomienda tener cuidado con la inserción de éstos ya que se podría lastimar las paredes del canal auditivo, o al tímpano.

- Al momento de la inserción de los micrófonos no se recomienda la asistencia de ningún tercero, ya que una persona ajena podría realizar movimientos bruscos que ocasionen lesiones.
- El momento de normalizar, se tienen que seleccionar una por una las muestras, ya que si se selecciona varias para procesarlas el software toma el punto más alto de todas como el nivel máximo, lo cual es perjudicial para el análisis.
- Se recomienda el uso de un *software* que tome un promedio de las señales en el tiempo que estas demoren y no simplemente tomar un gráfico de nivel instantáneo, ya que al ser el ruido rosa de carácter aleatorio, se puede tener resultados muy variables en una misma muestra.
- Cuando se realicen las mediciones es importante dejar al *dummy head* solo en el recinto de medición, ya que si alguna persona estuviese cercana a este cambiaría la absorción del recinto, lo que afectaría a la medición.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros

- [1] NEILL, John, GURNEY SMITH, Francis, An Analitical Compendium Of Various Branches of Medical Branches, Philadelphia: Blanchard and Lea, 1861, Pág: 334 - 338.
- [2] THOMPSON, Daniel, Understanding Audio, Berklee Press, 2005, Pág: 230 - 231.
- [3] IZHAKI, Roey, Mixing Audio Concepts, Practices and Tools, Focal Press, 2008, Pág: 12 - 14.
- [4] MIYARA, Federico, Acústica y sistemas de sonido, 4ta edición, Universidad Nacional de Rosario Editorial, 2006, Pág: 18 - 30.
- [5] MILES HUBER, David, Modern Recording Techniques, 6ta edición, Focal Press, 2005, Pág: 122 - 126.
- [6] EVEREST, Alton, Master Handbook os Acoustics, 4ta edición, McGraw-Hill, 2001, Pág: 67 - 68.
- [7] BUSER, Pierre, IMBERT, Michel, traducido por KAY, R.H., Audition, Massachusetts Institute of Tecnology, 1992, Pág: 61 - 76.

### Ficheros electrónicos

- [8] ARANGO, María Isabel, Teoría y práctica de micrófonos Partes (1,5).pdf, 2008, 15/09/09.
- [9] SAN MARTÍN, Juan E., Criterios de Selección de Micrófonos.pdf, UNPL, 2009, 15/09/09.

### Páginas Web

- [10] PONCELA BLANCO, Lidia, Universidad de Valladolid, Estudio cualitativo de la audición,  
[http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_06\\_07/io2/public\\_html/estudio/estudio.htm](http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_06_07/io2/public_html/estudio/estudio.htm), 2006, 08/08/09.



[11] WIKIPEDIA, Oído, [http://es.wikipedia.org/wiki/O%C3%ADdo#O.C3.ADdo\\_externo](http://es.wikipedia.org/wiki/O%C3%ADdo#O.C3.ADdo_externo), 2009, 09/08/09.

[12] WIKIPEDIA, Oído, [http://es.wikipedia.org/wiki/O%C3%ADdo\\_medio](http://es.wikipedia.org/wiki/O%C3%ADdo_medio), 2009, 09/08/09.

[13] UNVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE, Oído externo, <http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/apuntesotorrino/anatomiaoidoexterno.html> 2002, 09/08/09.

[14] UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL LISARDO ALVARADO, Oído medio, [http://www.ucla.edu.ve/dmedicin/enlinea/oido/oido\\_medio.htm](http://www.ucla.edu.ve/dmedicin/enlinea/oido/oido_medio.htm), 2005, 15/08/09.

[15] UNVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE, Oído medio, <http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/apuntesotorrino/AnatomiaOidoMd.html>, 2002, 09/08/09.

[16] SEPULVEDA, Cristian, Oído, [http://www.mediatools.cl/tesis\\_oido/Image8.gif](http://www.mediatools.cl/tesis_oido/Image8.gif), 2006, 28/08/09.

[17] JAEN, Alejandro, Curvas de isofonía, <http://alejandrajaen.files.wordpress.com/2008/01/fletchermunson-elc.png?w=559&h=397>, 2008, 05/09/09

[18] BIDONDO, Alejandro, Teoría y práctica de micrófonos, [http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=2&ved=0CakQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ingenieriadesonido.com%2Fupload%2FMicrofonos%2520y%2520conexionados%25201.pdf&ei=vF\\_XSvW4Ecy8AbRx5noCA&usq=AFQjCNEfC4BoKtgvd-ssH03VARDtmD9XHw&sig2=EEplHexcQowlAD9oITLbbA](http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=2&ved=0CakQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ingenieriadesonido.com%2Fupload%2FMicrofonos%2520y%2520conexionados%25201.pdf&ei=vF_XSvW4Ecy8AbRx5noCA&usq=AFQjCNEfC4BoKtgvd-ssH03VARDtmD9XHw&sig2=EEplHexcQowlAD9oITLbbA), 2007, 08/09/09.

[19] SEPULVEDA, Cristian, Oído, [http://www.mediatools.cl/tesis\\_oido/interno2.htm](http://www.mediatools.cl/tesis_oido/interno2.htm), [http://www.mediatools.cl/tesis\\_oido/interno1.htm](http://www.mediatools.cl/tesis_oido/interno1.htm), 2006, 28/08/09.

[20] DETAX, Catálogo de productos, [http://www.detax.de/en/audio/produkte\\_en/product\\_details.php?thisID=171&contid=173](http://www.detax.de/en/audio/produkte_en/product_details.php?thisID=171&contid=173), 2010, 15/01/10.

[21] DETAX, Catálogo de productos,  
[http://www.detax.de/en/audio/produkte\\_en/product\\_details.php?thisID=175&contid=109](http://www.detax.de/en/audio/produkte_en/product_details.php?thisID=175&contid=109), 2010, 15/01/10

[22] WIKIPEDIA, Audífonos, <http://en.wikipedia.org/wiki/Headphones>, 2010, 23/03/10.

[23] WIKIPEDIA, Audífonos,  
[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Out\\_ear\\_earphones\\_with\\_ear\\_attachment.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Out_ear_earphones_with_ear_attachment.JPG), 2010, 23/03/10.

[24] WIKIPEDIA, Audífonos,[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Headphones\\_1.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Headphones_1.jpg), 2010, 23/03/10.

[25] WIKIPEDIA, Audífonos, <http://en.wikipedia.org/wiki/File:InEarMonitors.jpg>,  
[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Out\\_ear\\_earphones.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Out_ear_earphones.JPG), 2010, 23/03/10.

[26] BENVENUTI, Juan Carlos, Tipos de micrófonos,  
<http://www.cetear.com/cap02microfonos.pdf>, 2006, 25/03/10.

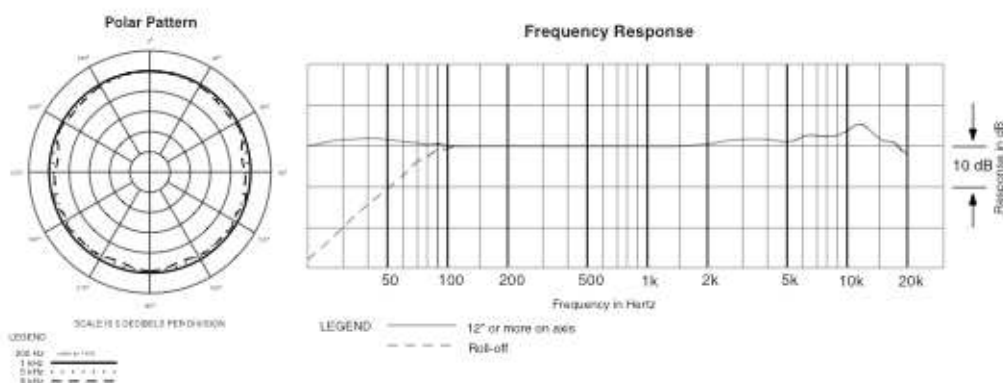
## ANEXOS

### Anexo 1. Especificaciones técnicas de micrófonos

**Tabla 8.1** – Cartilla de especificaciones del micrófono Audio Technica 899.

<b>AT899 SPECIFICATIONS*</b>	
<b>ELEMENT</b>	Fixed-charge back plate permanently polarized condenser
<b>POLAR PATTERN</b>	Omnidirectional
<b>FREQUENCY RESPONSE</b>	20-20,000 Hz
<b>LOW FREQUENCY ROLL-OFF</b>	80 Hz, 12 dB/octave
<b>OPEN CIRCUIT SENSITIVITY</b> (Phantom / Battery)	-43 dB (7.0 mV) / -46 dB (5.0 mV) re 1V at 1 Pa*
<b>IMPEDANCE</b> (Phantom / Battery)	200 ohms / 250 ohms
<b>MAXIMUM INPUT SOUND LEVEL</b> (Phantom / Battery)	138 dB / 116 dB SPL, 1 kHz at 1% T.H.D.
<b>DYNAMIC RANGE</b> (typical) (Phantom / Battery)	108 dB / 86 dB, 1 kHz at Max SPL
<b>SIGNAL-TO-NOISE RATIO</b> <sup>†</sup>	64 dB, 1 kHz at 1 Pa*
<b>PHANTOM POWER REQUIREMENTS</b>	11-52V DC, 2 mA typical
<b>BATTERY TYPE</b>	1.5V AA/UM3
<b>BATTERY CURRENT / LIFE</b>	0.4 mA / 1200 hours typical (alkaline)
<b>SWITCH</b>	Flat, roll-off (recessed)
<b>WEIGHT</b> (less cable and accessories)	
<b>MICROPHONE</b>	0.5 g (0.02 oz)
<b>POWER MODULE</b>	102 g (3.6 oz)
<b>DIMENSIONS</b>	
<b>MICROPHONE</b>	16.0 mm (0.63") long, 5.0 mm (0.20") diameter
<b>POWER MODULE</b>	145.0 mm (5.71") long, 21.0 mm (0.83") diameter
<b>OUTPUT CONNECTOR</b> (power module)	Integral 3-pin XLRM-type
<b>CABLE</b>	3.0 m (9.8') long (permanently attached to microphone), 2.0 mm (0.08") diameter, 2-conductor, shielded cable with TA3F output connector that mates with TB3M jack on power module
<b>ACCESSORIES FURNISHED</b>	AT8537 power module; AT8439 cable clip; clothing clip base; viper clip base; magnet clip base and plate with lanyard; three single mic holders; two double mic holders; two element covers; two windscreens; battery; protective carrying case

† In the interest of standards development, A.T.U.S. offers full details on its test methods to other industry professionals on request.  
 \* 1 Pascal = 10 dynes/cm<sup>2</sup> = 10 microbars = 94 dB SPL  
 † Typical, A-weighted, using Audio Precision System One.  
 Specifications are subject to change without notice.



*Fig. 8.1 – Patrón polar y respuesta de frecuencia de los micrófonos Audio Technica 899.*

**Tabla 8.2 – Cartilla de especificaciones del micrófono AKG 414.**

Type:	1-inch large-diaphragm pressure gradient microphone
Polar patterns:	omni, wide cardioid, cardioid, hyper cardioid, figure eight (selectable)
Open-circuit sensitivity:	23 mV/Pa (-33 dBV ± 0.5 dB)
Frequency range:	20 to 20,000 Hz (see frequency response traces)
Impedance:	≤ 200 ohms
Recommended load impedance:	≥ 2200 ohms
Bass cut filter slopes:	12 dB/octave at 40 Hz and 80 Hz; 6 dB/octave at 160 Hz
Preattenuation pads:	-6 dB, -12 dB, -18 dB (selectable)
Equivalent noise level to CCIR 468-2:	20 dB (0 dB preattenuation)
Equivalent noise level to DIN 45 412 (A-weighted):	6 dB-A (0 dB preattenuation)
Signal/noise ratio re 1 Pa (A-weighted):	88 dB
Max. SPL for 0.5% THD:	200/400/800/1600 Pa △ 140/146/152/158 dB SPL (0/-6/-12/-18 dB preattenuation)
Dynamic range:	134 dB min.
Max. output level:	5 V rms (+14 dBV)
Environment:	temperature: -10°C to +60°C R.H.: 95% (+20°C); 85% (+60°C)
Powering:	48 V phantom power to DIN/IEC
Current consumption:	approx. 4.5 mA
Connector:	3-pin XLR (pin 2 hot)
Dimensions:	50 x 38 x 160 mm / 2 x 1.5 x 6.3 in.
Net weight:	300 g / 10.6 oz.

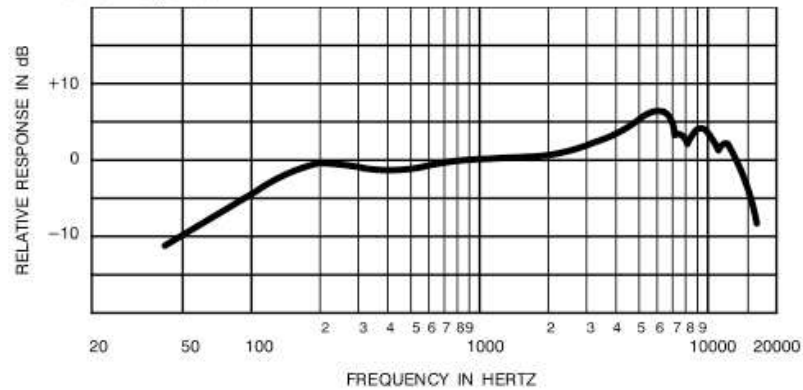
## SPECIFICATIONS

### Type

Dynamic

### Frequency Response

40 to 15,000 Hz



TYPICAL FREQUENCY RESPONSE

### Sensitivity (at 1,000 Hz)

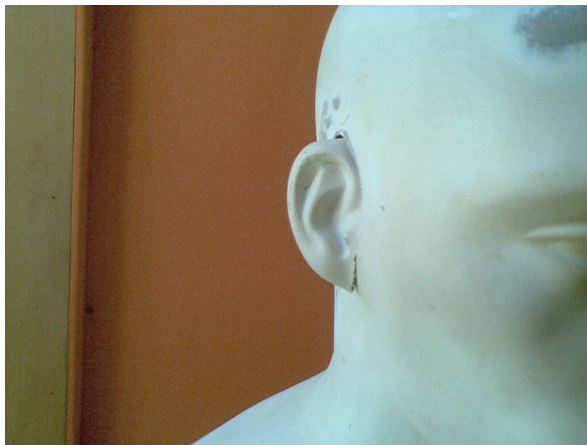
Open Circuit Voltage:  $-54.5 \text{ dBV/Pa}^*$  (1.9 mV)

\* (1 Pa = 94 dB SPL)

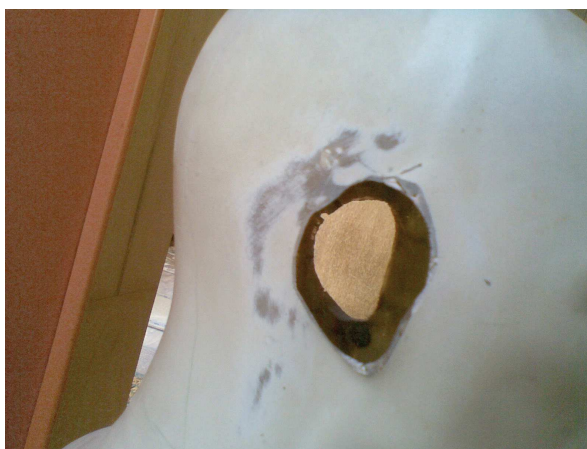
*Fig. 8.2 – Cartilla de especificaciones del micrófono SM57.*

**Anexo 2. Gráficos del proceso de construcción del *dummy head***

*Fig. 8.3 – Maniquí en proceso de masillado y lijado.*



*Fig. 8.4 – Orejas originales antes de la extracción.*



*Fig. 8.5 – Maniquí sin orejas.*

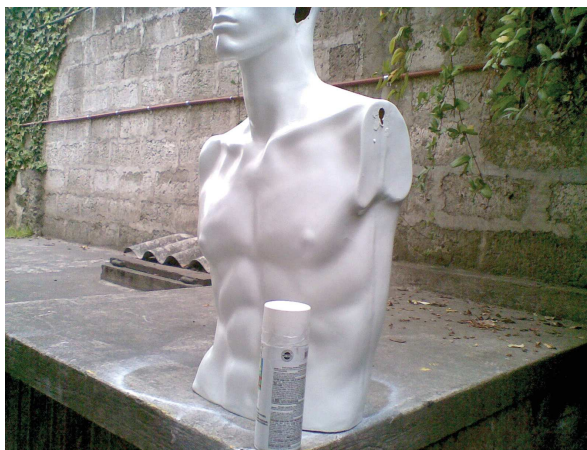




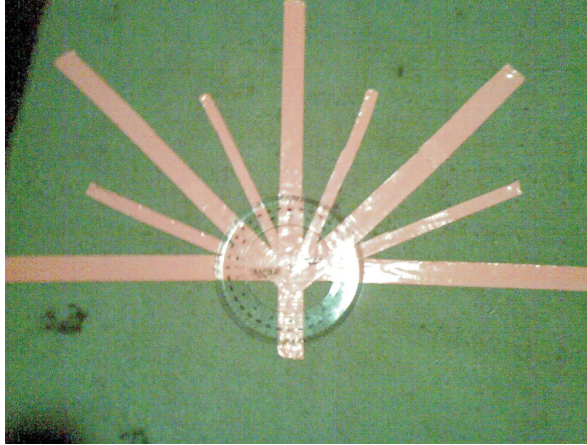
*Fig. 8.6 – Montaje de modelos de orejas previo proceso de pintado.*



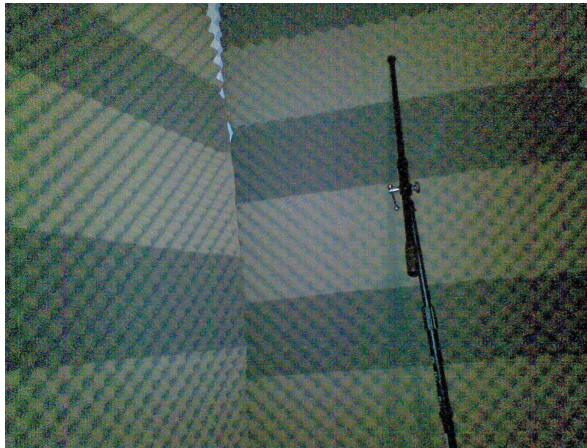
*Fig. 8.7 – Colocación de la silicona de baño a manera de cerebro.*



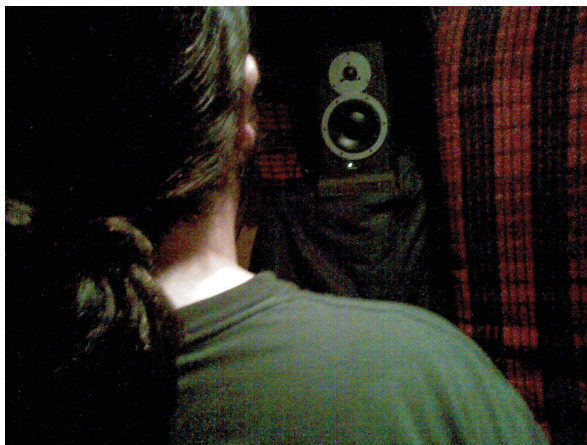
*Fig. 8.8 – Maniquí ya completamente pintado.*



*Fig. 8.9 – Líneas guías marcadas en la piso para facilitar las mediciones.*



*Fig. 8.10 – Espuma de caucho sobre de las paredes.*



*Fig. 8.11 – Mediciones con la cabeza real, muestra la altura de la fuente respecto al oído.*



### **Anexo 3. Glosario**

Cross-over: dispositivo eléctrico usado en la etapa de amplificación de una cadena electroacústica, mismo que realiza el trabajo de dividir la señal entrante en grupos de frecuencias, para que así los altavoces funcionen con una mayor eficiencia.

dBa: ponderación aplicada a un señal que resta y añade valor a frecuencias para obtener una respuesta similar a la escucha del oído humano.

dBV: decibel cuyo valor de referencia es 1 Volt.

Decibel: es la unidad de medida de la intensidad del sonido, es el logaritmo de la relación entre la magnitud de interés y la de referencia.

Dummy Head: su traducción literal es cabeza de muñeco o maniquí. Se refiere al modelo creado con el fin de emular al cuerpo humano y los efectos de este en la audición.

Hertz: unidad de frecuencia (SI), representa la cantidad de veces por segundo que se repite una onda (frecuencia).

In-ear monitors: audífonos usados profesionalmente para aplicación de sonido en vivo, sirven como referencia a los músicos, de esta forma se podría prescindir de los monitores de piso.

Pars: porción o sección.

Phantom power: voltaje que va de los 48-52 Volts normalmente, usado en los micrófonos de condensador, para poder polarizar sus dos placas paralelas, con el fin de crear una diferencia de potencial. Existen micrófonos que requieren voltajes menores por lo que se requieren un pack de baterías o bien un adaptador que baje el voltaje y de esta forma no dañar al micrófono.

Software: programa de computadora usado para dirigir sus funciones desde una interface.