

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS DE
TELECOMUNICACIÓN, MENCIÓN SISTEMAS DE
TELCOMUNICACIÓN

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

Autor:

D. Alba Fernández Cadenas

Tutor:

Dr. D. Alberto Izquierdo Fuente

Valladolid, 11 de Marzo de 2024

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

TÍTULO	Emulación de un audifono en tiempo real mediate Labview
AUTOR:	D. Alba Fernández Cadenas
TUTOR:	Dr. D. Alberto Izquierdo Fuente
DEPARTAMENTO:	Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática

TRIBUNAL

PRESIDENTE:	Alberto Izquierdo Fuente
SECRETARIO:	Alonso Alonso Alonso
VOCAL:	Lara del Val Puente
SUPLENTE 1:	Juan Jose Villacorta Calco
SUPLENTE 2:	Jaime Gomez Gil

FECHA:	
CALIFICACIÓN:	

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres y mi hermano por confiar en mí, por apoyarme durante este proceso y por creer en mí cuando ni yo misma lo hacía.

Darle las gracias a mi amiga Ángela, por su amistad, por haber soportado tanto los buenos como los malos momentos y por ser la amiga que me llevo de esta etapa.

A Aroa, mi fiel amiga, le agradezco especialmente por ser una de las personas que más ha confiado en mí siempre, y por ser mi mayor apoyo en todos los aspectos de mi vida.

Por último, agradecer a mi tutor Alberto por la paciencia que me ha tenido durante este proyecto y darle las gracias por su dedicación y disponibilidad.

Resumen

El propósito fundamental de este trabajo de fin de grado es detectar y remediar la pérdida auditiva en las personas. Para lograr este cometido, se han diseñado dos aplicaciones específicas utilizando LabView.

En el transcurso de este proyecto, se llevó a cabo una investigación sobre los procedimientos empleados en las audiometrías, los diversos tipos de ecualizadores disponibles, así como la variedad de modelos de audífonos existentes en el mercado.

Posteriormente, se procedió a desarrollar la primera aplicación, que toma forma como una audiometría, destinada a la identificación de posibles deficiencias auditivas en las personas. Los resultados de esta evaluación se representarán gráficamente en un audiograma. La segunda aplicación, un ecualizador, tiene como objetivo mejorar la capacidad auditiva del usuario al enfocarse en la amplificación selectiva de determinadas frecuencias.

Con la finalidad de corroborar la eficacia de estas aplicaciones, se llevarán a cabo pruebas en individuos de diversas edades y con distintos perfiles auditivos. Cabe destacar que estas evaluaciones adoptaran un enfoque subjetivo, considerando que la percepción del sonido es inherentemente subjetiva y puede variar ligeramente de un individuo a otro.

Palabras Clave

Pérdida auditiva, frecuencias, amplitudes, audiometría, ecualizadores, Labview, tarjeta MyDAQ, filtros, audífonos.

Abstract

The main purpose of this final degree work is to detect and remediate hearing loss in people. To achieve this goal, two specific applications have been designed using LabView.

During the course of this project, research was carried out on the procedures used in audiometry, the various types of equalizers available, as well as the variety of hearing aid models on the market.

Subsequently, we proceeded to develop the first application, which takes the form of an audiometry, aimed at identifying possible hearing deficiencies in people. The results of this evaluation will be represented graphically in an audiogram. The second application, an equalizer, aims to improve the user's hearing ability by focusing on the selective amplification of certain frequencies.

In order to corroborate the effectiveness of these applications, tests will be carried out on individuals of different ages and with different hearing profiles. It should be noted that these evaluations will adopt a subjective approach, considering that sound perception is inherently subjective and may vary slightly from one individual to another.

Keywords

Hearing loss, frequencies, amplitudes, audiometry, equalizers, Labview, MyDAQ card, filters, hearing aids.

ÍNDICE

Índice.....	8
Índice de Figuras.....	9
Índice de tablas.....	11
Capítulo 1. Introducción	12
1.1 Motivación y objetivos	12
1.2 Fases del proyecto.....	13
1.3 Estructura de la memoria	13
Capítulo 2. Audiometría.....	15
2.1 Conceptos básicos de las audiometrías	15
2.2 Tipos de audiometría	16
2.3 Descripción sonotones y ecualizadores	18
2.4 Análisis e interpretación de las audiometrías.....	21
Capítulo 3. Arquitectura de un audífono	24
3.1 Descripción del hardware	24
3.2 Diseño de una aplicación para audiometrías	27
3.3 Diseño del ecualizador	32
Capítulo 4. Pruebas y resultados.....	35
4.1 Obtención de las audiometrías	35
4.1.1 Creación del filtro ecualizador	43
4.2 Evaluación subjetiva del audímetro	47
Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras	51
Capítulo 6. Referencias	52
Anexo A.	54
Anexo B.	55

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Audífonos intraauricular</i>	19
Figura 2. <i>Audífonos retroauriculares</i>	19
Figura 3. <i>Audífonos RIC</i>	19
Figura 4. <i>Respuesta en frecuencia del ecualizador grafico</i>	21
Figura 5. <i>Ajuste ancho de banda con un ecualizador paramétrico</i>	21
Figura 6. <i>Niveles de audición de un audiograma</i>	22
Figura 7. <i>Resultados de una audiometría</i>	22
Figura 8. <i>Hardware interno de la tarjeta NI MyDAQ</i>	25
Figura 9. <i>Vista Lateral de la tarjeta NI MyDAQ</i>	26
Figura 10. <i>Interfaz Usuario</i>	28
Figura 11. <i>Subrutina de frecuencias y amplitudes aleatorias</i>	28
Figura 12. <i>Curvas isofónicas de Fletcher y Munson</i>	29
Figura 13. <i>Auriculares the t.bone HD 800</i>	30
Figura 14. <i>Generación de gráfica</i>	31
Figura 15. <i>Diseño de un banco de filtro</i>	33
Figura 16. <i>Respuesta frecuencial del banco de filtro</i>	34
Figura 17. <i>Oído izquierdo del Usuario 1</i>	36
Figura 18. <i>Oído derecho del Usuario 1</i>	37
Figura 19. <i>Ambos oídos del Usuario 1</i>	37
Figura 20. <i>Oído izquierdo del Usuario 3</i>	40
Figura 21. <i>Oído derecho del Usuario 3</i>	40
Figura 22. <i>Ambos oídos del Usuario 3</i>	41
Figura 23. <i>Oído izquierdo del Usuario 4</i>	41
Figura 24. <i>Oído derecho del Usuario 4</i>	42
Figura 25. <i>Ambos oídos del Usuario 4</i>	42
Figura 26. <i>Resultado ecualizador Usuario 1</i>	44
Figura 27. <i>Comparación audiometría/ ecualizador Usuario 1</i>	45
Figura 28. <i>Resultado ecualizador Usuario 2 y Usuario 3</i>	45
Figura 29. <i>Comparación audiometría/ ecualizador Usuario 2 y 3</i>	44
Figura 30. <i>Resultados ecualizador Usuario 4</i>	44
Figura 31. <i>Comparación audiometría/ ecualizador Usuario 4</i>	47

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

Figura 32. <i>Evaluación de Niveles de Volumen</i>	48
Figura 33. <i>Percepción de las Diferentes Frecuencias</i>	49

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Ganancia de compensación para cada frecuencia</i>	30
Tabla 2. <i>Frecuencias y amplitudes del oído izquierdo del Usuario 2</i>	38
Tabla 3. <i>Frecuencias y amplitudes del oído derecho del Usuario 2</i>	38
Tabla 4. <i>Frecuencias y amplitudes del ambos oídos del Usuario 2</i>	38

Capítulo 1

Introducción

1.1 Motivación y objetivos

Hoy en día, cada vez es más común que los jóvenes experimenten problemas de audición a una edad temprana, y esto debe a varios factores:

- Exposición a entornos ruidosos: Los jóvenes tienden a estar expuestos situaciones ruidosas como conciertos y discotecas. Además, el uso excesivo de auriculares en volúmenes altos también contribuye a este problema. La exposición prolongada a niveles de ruidos puede causar daños auditivos significativos con el tiempo.
- Contaminación acústica: Vivir en áreas urbanas con niveles elevados de contaminación acústica puede perjudicar la salud auditiva de los jóvenes.
- Cambios en el estilo de vida: Algunos cambios en el estilo de vida, como la dieta y el nivel de actividad física, también puede influir en la salud auditiva.

Es importante destacar que muchos jóvenes no son conscientes de los riesgos asociados con la exposición a niveles de ruido elevados. Por lo tanto, es fundamental crear conciencia sobre la importancia de proteger la audición y tomar medidas para evitar riesgos.

En este proyecto, se pretende diseñar una aplicación de audiometrías que permita evaluar la pérdida auditiva en las personas. Además, se desarrollará un ecualizador para corregir los problemas auditivos detectados. Estas herramientas serán de gran utilidad para abordar los problemas de audición y mejorar la calidad de vida de quienes los padecen.

Para el fin de alcanzar estos objetivos, nos proponemos:

- Investigar el funcionamiento de las audiometrías y los resultados que se pueden obtener para guiar el diseño de nuestra aplicación. También se explorará el funcionamiento de los ecualizadores.
- Familiarizarnos con el rango de frecuencias que deben de estudiar, así como las amplitudes mínimas necesarias para percibir cada una de ellas. También es importante investigar el umbral de emisión correspondiente a cada frecuencia.
- Analizar los diferentes tipos de filtros disponibles y comprender las frecuencias de corte, que son los puntos en los que comienza la atenuación. También debemos estudiar la ganancia necesaria para aplicar a cada frecuencia dentro de una señal de audio.
- Evaluar de manera subjetiva el funcionamiento de nuestro ecualizador, considerando la capacidad de mejorar la calidad de audio, personalizar el sonido, corregir imperfecciones, adaptar a diferentes géneros musicales.

1.2 Fases del proyecto

Este proyecto se divide en tres partes: investigación, diseño y análisis de resultados.

En la primera parte, nos enfocaremos en la investigación para comprender las bases de las dos aplicaciones que planeamos diseñar en este proyecto. Buscaremos entender las funciones específicas que realizan y los datos necesarios para su correcto funcionamiento.

En la segunda parte, nos centraremos en el diseño de las dos aplicaciones. La primera aplicación será para realizar pruebas audiométricas con el fin de evaluar la pérdida de audición experimentada por el paciente. Para ajustar los parámetros necesarios, como la amplitud mínima que una persona puede percibir, realizaremos exámenes en personas sin pérdida de audición para determinar la amplitud mínima perceptible para cada frecuencia. La segunda aplicación consistirá en un ecualizador que permitirá ajustar la ganancia de las frecuencias de acuerdo con las necesidades del paciente.

Por último, en la tercera parte del proyecto, realizaremos una serie de pruebas para analizar el correcto funcionamiento de las aplicaciones. Analizaremos a personas de distintas edades, algunas con pérdida auditiva y otras sin ella, para asegurarnos de que las aplicaciones funcionen adecuadamente y proporcione los resultados precisos.

1.3 Estructura de la memoria

Este trabajo se dividirá en cinco capítulos con los siguientes contenidos:

En el primer capítulo, se proporcionará una visión general del trabajo. Esto incluye la motivación detrás del proyecto y los resultados esperados. Además, explicará cómo se llevarán a cabo el cumplimiento de estos objetivos y que se espera lograr al finalizar el proyecto.

El segundo capítulo, se enfocará en las audiometrías, un componente clave de nuestro proyecto. Exploraremos las diversas formas en que se pueden llevar a cabo las audiometrías y cómo se deben interpretar los resultados obtenidos. También examinaremos los diferentes tipos de sonotones, que son herramientas esenciales en este contexto, y comprenderemos el funcionamiento de los ecualizadores, incluyendo los diferentes tipos disponibles en el mercado.

En el tercer capítulo, nos adentraremos en el diseño de las aplicaciones que hemos desarrollado como parte de este proyecto. Explicaremos minuciosamente las razones detrás de cada elección de diseño y presentaremos dos aplicaciones específicas: una diseñada para realizar audiometrías y otra que consiste en un ecualizador capaz de ajustar las frecuencias de acuerdo con las necesidades del paciente. Este capítulo se centrará en la arquitectura y la lógica detrás de estas aplicaciones.

En el cuarto capítulo, realizaremos un análisis subjetivo de los resultados obtenidos mediante el uso de las aplicaciones que hemos desarrollado. Aquí, compartiremos nuestras impresiones y observaciones sobre la eficiencia y el rendimiento de estas aplicaciones.

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

en relación con los objetivos que plantemos inicialmente. Este análisis nos permitirá evaluar que tan efectivas son las aplicaciones en la práctica.

Finalmente, en el quinto capítulo, presentaremos las conclusiones más relevantes que hemos alcanzado a lo largo del proyecto. Resumiremos los logros y las lecciones aprendidas, y también propondremos posibles líneas futuras de investigación que podrían generar nuevas ideas y desarrollos en el campo relacionado con las audiometrías y los ecualizadores. Este capítulo proporcionara una visión global del impacto y las implicaciones de nuestro trabajo.

Capítulo 2

Audiometría

2.1 Conceptos básicos de las audiometrías

Las audiometrías se tratan de unos exámenes médicos que tienen como objetivo medir la capacidad auditiva, este estudio se realiza en función de las frecuencias y de las intensidades de los sonidos. Está basado principalmente en el funcionamiento del oído interno.

La pérdida de audición se produce cuando la cóclea se ha visto afectada y no puede traducir las vibraciones de los sonidos que se envían en impulsos nerviosos al cerebro. Puede ser debido a una gran cantidad de factores como: defectos de nacimiento, infecciones en los oídos, sonidos de más de 85 dB pueden causar daños después de unas horas, el volumen elevado de los auriculares... [1]

Con las audiometrías se puede evaluar un rango de frecuencias muy amplio las cuales el oído es capaz de percibir, siendo en bandas de octava desde los 20 Hz hasta los 20.000 Hz. Los sonidos inferiores a 20 Hz son conocidos como los infrasonidos, mientras que los sonidos superiores a 20.000 Hz son denominados ultrasonidos. Pero las frecuencias más utilizadas en estos exámenes se dividen en tres bloques:

- Frecuencias bajas: 125 – 250 Hz.
- Frecuencias medias: 500 -1.000 Hz.
- Frecuencias altas: 2.000 -8.000 Hz.

Las frecuencias que van desde los 200 hasta los 1.000 Hz son las que nos permiten percibir voces y algunos instrumentos musicales, las que van desde los 1.000 a los 4.000 Hz son las frecuencias más importantes para percibir el habla de manera clara. Desde los 4.000 Hz a los 8.000 se aporta claridad al habla y son de gran importancia para los pequeños detalles de los sonidos. La extensión en altas frecuencias son aquellas que van desde los 9.000 hasta los 20.000 Hz pero no se utilizan en estos estudios ya que no hay valores estándar disponibles. Aunque cada vez se están introduciendo más en este tipo de prácticas para detectar la detención precoz en pérdidas de audición.

Las frecuencias más bajas son importantes para percibir sonidos muy graves como puede ser el ruido del tráfico de la ciudad o el ruido de una moto. Con las frecuencias altas, se perciben sonidos agudos como el canto de los pájaros.

Hay que destacar que la capacidad de percibir frecuencias varía dependiendo de la persona, ya que puede verse afectada por diversos factores como puede ser la edad, la presencia de enfermedades en el oído o la exposición continua a ruidos muy fuertes. Las frecuencias que se utilizan en las audiometrías han sido establecidas por la norma ISO 7019 (2000) y engloban patrones desde los 18 hasta los 70 años. [2]

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

Cuando realizamos las audiometrías cada frecuencia está expuesta a una gran variedad de amplitudes que corresponde con las intensidades, se mide en decibelios SPL (Nivel de Presión Sonora). Se dividen en tres niveles distintos pero hay que destacar que estas amplitudes pueden verse afectadas por la edad del paciente o si tiene alguna patología:

- Para las frecuencias de 125 Hz y 250 Hz se suelen utilizar amplitudes entre 0 y 50 dB SPL.
- Las frecuencias entre 500 y 2.000 Hz tienen unos niveles de amplitud entre 0 y 70 dB SPL.
- Las frecuencias desde los 2.000 Hz hasta los 8.000 Hz tienen unos niveles de amplitud entre 0 y 90 dB SPL. [7]

Para la realización de este examen se requiere de un audiómetro, un micrófono, un ordenador que vaya registrando los datos y unos audífonos. Puede haber tres tipos de auriculares distintos, el primero de ellos es el supraaurales, los más usados y se apoyan en el pabellón auricular, los segundos circumaurales son aquellos que rodean todo el pabellón auricular pero pueden causar un colapso en el conducto auditivo al igual que los primeros. Por último, están los intraurales los cuales disponen de espuma desechable y aíslan el ruido externo al igual que no se producen colapso en el conducto auditivo

El paciente debe de estar en una habitación insonorizada, con unos audífonos conectados al audiómetro, a través de este instrumento se irá generando tonos con distintas frecuencias y cada una de ellas va a sufrir modificaciones en la intensidad, llegando a alcanzar tonos molestos para el paciente. Este examen debe de hacerse primero en un oído y luego en el otro, cada vez que se oiga un sonido el paciente debe de hacer una señal. Los resultados se deben ir registrando en un audiograma, el cual será analizado por el examinador para ver si hay pérdida auditiva, su tipo y grado. [7,8]

2.2 Tipos de audiometría

Hay varios tipos de audiometrías se pueden clasificar en dos grupos, las objetivas y las subjetivas, en la primera de ellas no es necesario la participación del paciente, solamente se registra la actividad eléctrica en los núcleos de la vía auditiva y en las segundas el paciente colabora.

Las audiometrías objetivas suelen realizarlas los niños pequeños, los bebés o las personas con problemas de audición que no están preparados para realizar una audiometría convencional, son llamadas audiometrías conductuales. También se debe destacar que estas pruebas no son igual de precisas que las convencionales, para ello se necesita realizar unas pruebas a mayores para poder confirmar los resultados. Este examen consiste en insertar un auricular en el canal auditivo para poder detectar emisiones otacústicas, en el momento que la cóclea es estimulada las células ciliadas externas vibran y a través de estas vibraciones el oído medio lo detecta y lo mide. [4,6]

Dentro de las subjetivas puede haber varios tipos y se clasifican así:

- **Audiometría tonal:** se dispone de una cabina insonorizada, donde se analizara cada oído por separado variando las frecuencias y las amplitudes, cuando el sonido sea percibido se debe de accionar un pulsador o con una señal. Este tipo de audiometrías se pueden dividir en dos grandes grupos como:

- **Audiometría tonal liminar:** su objetivo es hallar la capacidad mínima de audición que tiene un paciente. Se prueban frecuencias entre los 125 y los 8.000 Hz y la intensidad debe de ir variando cada 5 dB hasta llegar a los 120 dB. En este estudio se empieza por la frecuencia de 1.000 Hz, e ir variando a las más agudas y luego a las graves. En el momento en el cual, el paciente responda positivamente dos veces a la misma intensidad se marcara ese punto como el umbral del tono.
- **Audiometría tonal supraliminar:** con este tipo de examen lo que se pretende es la emisión de sonidos a diferentes frecuencias, pero no necesariamente aumentar el nivel de intensidad por encima del umbral auditivo normal. Con esta prueba se evalúa la hipersensibilidad auditiva (hiperacusia) en algunos casos.

- **Audiometría vocal o logaudiometría:** mide la capacidad de una persona para comprender el lenguaje, es complementaria a la audiometría tonal. Se utilizan una serie de palabras o frase con distintos niveles de intensidad y se debe de repetir lo que se escucha.

Se analizan varios parámetros con los que medir este tipo de audiometrías, el umbral de detención de la palabra, el cual nos indica la mínima intensidad con la que se percibe un mensaje, se empieza desde los 0 dB e se irá subiendo de 5 en 5 dB hasta que el paciente empiece a escuchar. Después está el umbral de recepción verbal donde se percibe la mínima intensidad con la que se entiende el mensaje, si se contesta bien la mitad se subirá 10 dB y se marcara esa intensidad como el umbral de recepción verbal. Por último, la discriminación donde el oyente es capaz de diferenciar dos palabras muy parecidas. [5]

- **Audiometría de alta frecuencia:** en esta audiometría se pretende estudiar la capacidad auditiva con frecuencias superiores a las tonales yendo desde los 16.000 a los 18.000 Hz, va siguiendo los mismos pasos que las tonales. [8]

- **Audiometría de inmersión:** esta prueba la realizan los buzos y las personas cuya profesión está dedicada a ambientes acuáticos, con ella se pretende evaluar la capacidad auditiva en unas condiciones parecidas a las de buceo ya que la presión a determinadas profundidades puede afectar a la audición. Es igual que la convencional van a emitirse unos tonos a distintas frecuencias y variando las intensidades a través de unos audífonos impermeables al agua. [3]

Las audiometrías más utilizadas son las tonales pero dependiendo las necesidades y circunstancias de cada persona es más adecuado utilizar unas u otras.

2.3 Descripción sonotones y ecualizadores

Estos dos dispositivos son dispositivos electrónicos utilizados para mejorar la calidad del sonido.

Los sonotones son audífonos que pueden tener diversos tamaños, incluso pueden llegar a ser invisibles, colocándose dentro o fuera de la oreja. Su función consiste en recibir el sonido a través de un micrófono, luego el amplificador recibirá esas señales eléctricas y aumentara su intensidad, por último se debe de enviar al interior del oído el sonido gracias a un auricular.

Los audífonos tuvieron una gran evolución en el siglo XX ya que se trató de reducir su tamaño y hacerlos más ligeros, el primer audífono portátil se creó en 1902 aunque el paciente debería de llevar colgado el amplificador y las baterías. En 1947 se instauraron unas válvulas con unas pilas y los amplificadores haciéndolos más pequeños. A partir de los 90 aparecieron los audífonos digitales siendo capaces de adaptarse a las condiciones de cada persona. Desde entonces, la tecnología ha ido avanzado hasta llegar a los audífonos que conocemos hoy en día. [10]

Las personas con pérdidas de audición sufren grandes dificultades a la hora de realizar actividades diarias llegando a sufrir depresiones, ansiedad o aislarse. Gracias a estos aparatos van a poder mejorar su calidad de vida, al igual que también podrán evitar un mayor deterioro cognitivo, evitar accidentes o caídas ya que el oído está fuertemente relacionado con el equilibrio.

Los audífonos pueden ser de dos tipos diferentes analógicos o digitales. Los analógicos transforman el sonido en señales eléctricas que van a ser amplificadas para poder pasárselo al auricular. Estos no van a poder adaptarse a todas las condiciones del usuario mientras que los digitales son más modernos y son capaces de eliminar ruido de los sonidos antes de pasárselo al auricular. La principal ventaja sobre los analógicos es que las frecuencias se amplifican pero adaptadas al ambiente en el que se encuentre el usuario. La preferencia de los personas con pérdidas auditivas es el digital aunque las personas acostumbradas al analógicos dicen que es el sonido es peor. [11]

Para poder mejorar la capacidad auditiva hay varios tipos de dispositivos, vamos a describir los más comunes:

- **Audífonos intraauricular (ITE):** son los audífonos más pequeños e incluso invisibles, no tiene ningún tipo de cable, son hecho a medida y se ajustan al conducto auditivo. Son los más apropiados para pérdidas auditivas leves. Están formados por 5 componentes: micrófonos, amplificador, microchip, altavoz y batería. Dentro de estos audífonos existen 4 formatos distintos: audífono invisible en el canal, intracanal, completamente en el canal e intraauricular concha completa y el de media concha.

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview



Figura 1. Audífonos intraauricular

- **Audífono retroauriculares (BTE):** son los más utilizados y son capaces de adaptarse a cualquier oído, se colocan detrás del oído y se debe de conectar a través de un tubo al canal auditivo. Son utilizados por las personas que tienen una pérdida de audición severa ya que pueden amplificar más el sonido.



Figura 2. Audífonos retroauriculares

- **Audífonos RIC:** los pueden utilizar pacientes con pérdidas de audición muy variada desde personas con hipoacusia leve hasta profunda. Tiene un auricular que va introducido en el interior del oído y la carcasa va por detrás de la oreja. Una de sus grandes ventajas es que puede ser transparente, y dispone una tecnología muy avanzada para poder regular los sonidos dependiendo del ambiente en el que se encuentre. [12]



Figura 3. Audífonos RIC

Se están realizando investigaciones para introducir en los audífonos, el procesamiento de señales, tratando de amplificar las ondas sonoras ajustándolas de una manera más sencilla y poder satisfacer las necesidades de cada persona. Se pretende reducir interferencias provocadas por el ruido, al igual que se están buscando nuevas maneras de introducir estos aparatos en los niños.

ECUALIZADORES

Los ecualizadores son dispositivos que disponen de filtros usados para mejorar la calidad del sonido y se compensa los defectos del canal para que sea lo más parecido al original, permitiendo aumentar o disminuir la ganancia en dos o más bandas de frecuencia. Un ejemplo de ecualizador sencillo es el *control de tono* encargado de controlar tres bandas de frecuencia las cuales son: *graves, medios y agudos*. Cabe destacar que los parámetros de los filtros no interactúan, lo que quiere decir que donde termina uno, otro inicia. Los factores que pueden variar en los ecualizadores son la frecuencia central, el ancho de banda y la ganancia. Hay tres tipos de ecualizadores:

Ecualizadores gráficos

Se trata de un ecualizador dividido entre 5 y 31 bandas de frecuencia abarcando desde los 20 Hz hasta los 20 KHz. Cada una de las bandas tendrá una frecuencia central fija determinada por una lista estándar de frecuencias, dicha frecuencia es establecida para que se cumpla la relación constante entre dos frecuencias consecutivas.

El tipo de filtro utilizado en estos ecualizadores es paso banda, son aquellos que dejan pasar un rango de frecuencias y atenúa el resto de las frecuencias con las que se está trabajando. A diferencia de otros tipos de filtro como puede ser el paso bajo o el alto dispone de dos frecuencias de corte al igual que el elimina banda.

En los modelos de ecualizadores más usados se usan intervalos de octava ya que necesitamos menos bandas y no se necesita tanta precisión como las que ofrecen los de tercio de octava. Cada uno de los filtros dispondrá de un control permitiendo atenuar o amplificar la amplitud de la banda de frecuencia sobre la que se está trabajando.

En este tipo de ecualizadores cuando la curva está por encima del eje horizontal, el filtro realza las frecuencias de la banda próxima a la frecuencias central, en otro caso se atenúa. [13]

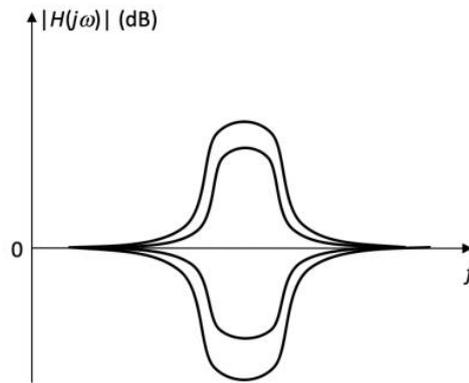


Figura 4. Respuesta en frecuencia del ecualizador gráfico

Ecualizador paramétrico

Este tipo es el más completo ya que puede variar los tres parámetros para ajustar el filtro, la frecuencia central, el ancho de banda (BW) y la ganancia de cada banda de frecuencia. Este tipo de ecualizadores son ajustados de una manera más exacta y personalizada por cada usuario. A diferencia del ecualizador gráfico no necesita un gran número de bandas para poder controlar todo el espectro audible.

En la siguiente imagen, podemos observar que a medida que aumenta el ancho de la banda del filtro, el factor de calidad disminuye. El factor de calidad (Q) se define como la relación entre la frecuencia central (f_0) y el ancho de banda (BW) del filtro, y está inversamente relacionado con la amplitud del ancho de banda del filtro. En otras palabras, a medida que el ancho de banda del filtro se amplía, el factor de calidad disminuye, y viceversa. [14,15]

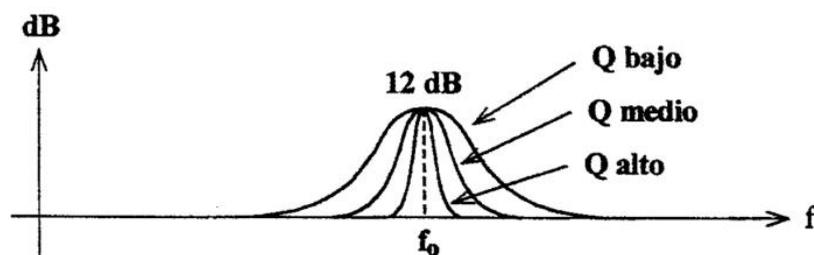


Figura 5. Ajuste ancho de banda con un ecualizador paramétrico

Con estos dispositivos se puede ayudar a las personas con pérdidas auditivas a compensar determinadas frecuencias, pudiendo incluirse ecualizadores para cada entorno diferente como un concierto, un restaurante facilitando al paciente adaptarse a diversas situaciones.

2.4 Análisis e interpretación de las audiometrías

La interpretación de los resultados obtenidos a través de una audiometría consiste en analizar la curva audiométrica, la cual muestra la respuesta de un paciente de cada uno de sus oídos a diferentes frecuencias y amplitudes de la misma. La gráfica en la

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

que se muestra dicha curva se denomina audiograma e indica la intensidad más baja a la que escucha cada una de las frecuencias en el 50% de las veces.

En la parte superior muestra desde la frecuencia más baja hasta la más alta, la intensidad del sonido se expresa en dB desde la más pequeña a la más alta.

El Nivel auditivo de cada persona es considerado desde el nivel cero de referencia al umbral auditivo del paciente. La audición normal para una persona joven está en el rango hasta los 20 dB, partir de esa frecuencia es considerado pérdida auditiva y se clasifican como pérdida leve, moderada, severa y profunda.

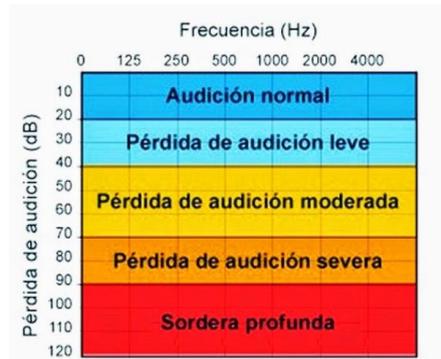


Figura 6. Niveles de audición de un audiograma

Los resultados se deben de mostrar en dos gráficos distintos para cada oreja. En la Figura 7 se pueden observar dos situaciones distintas, en la primera de ella se ve una audición normal mientras que en la segunda hay una pérdida de audición.

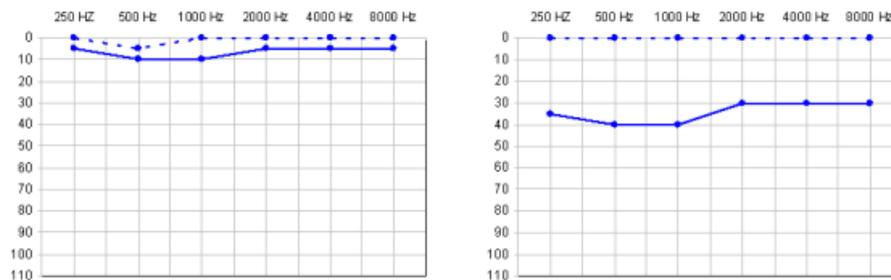


Figura 7. Resultados de una audiometría

Cuando no se cumplen las condiciones de audiometría normal pueden ocurrir otras situaciones que vamos a describir a continuación como:

Pérdida de audición mediana

Es aquella va desde los 25 hasta los 45 dB. Las personas que sufren este tipo de pérdidas en muchas ocasiones no logran entender lo que se les está diciendo a una cierta distancia o en lugares con alto nivel de ruido.

Pérdida de audición moderada.

El umbral este entre los 45 y los 65 decibelios. Las personas que sufren este tipo de pérdidas no pueden llegar a seguir una conversación si hay ruido en el ambiente.

Pérdida auditiva severa

El umbral se encuentra entre 65 y 85 dB y no pueden escuchar lo que se está diciendo aunque no hay ruido en muchas ocasiones.

Pérdida auditiva profunda

Es aquella donde el umbral pasa de 85 dB, la persona que sufre este tipo de pérdida no es capaz de escuchar nada aunque se las esté gritando.

Capítulo 3

Arquitectura de un audífono

3.1 Descripción del hardware

En este trabajo hemos seleccionado la tarjeta de adquisición de datos NI MyDAQ, desarrollada por National Instruments (NI), como nuestra herramienta principal para llevar a cabo las mediciones y generar señales en tiempo real. Esta elección se basa en las capacidades notables de esta tarjeta y su compatibilidad con nuestros objetivos de investigación. A continuación, detallamos las características clave de la tarjeta y su relevancia en nuestro proyecto:

La elección de la tarjeta NI MyDAQ se basa en su versatilidad y su amplia aplicación en varios campos. En particular, esta tarjeta es ampliamente utilizada por estudiantes que desean aplicar sus conocimientos teóricos en experimentos e investigaciones en áreas como la ingeniería, la física, la biología y la química.

En lo que respecta a sus capacidades, la tarjeta NI MyDAQ es excepcionalmente versátil. Por ejemplo, nos permite llevar a cabo análisis de señales biológicas como el electrocardiograma (ECG) o la electromiografía (EMG), lo que es esencial en investigaciones médicas y biomédicas. Además, esta tarjeta es valiosa en aplicaciones que requieren el control de la temperatura de un horno o la velocidad de motores, lo que la hace relevante en campos de ingeniería mecánica y térmica.

No obstante, sus aplicaciones no se limitan a estas áreas ya que también resulta útil en la monitorización y el análisis del consumo energético, lo que facilita el seguimiento preciso del gasto de energía en diversos dispositivos y sistemas. En el ámbito de la ingeniería civil, aeroespacial y mecánica la tarjeta NI MyDAQ se convierte en una herramienta esencial para el estudio de vibraciones y el análisis de estructuras, permitiendo investigar las frecuencias naturales y los modos de vibración de manera efectiva.

Hardware Interno

La tarjeta MyDAQ cuenta con varias características importantes. Dispone de 8 entradas o salidas digitales (DIO) y 2 entradas analógicas (AI) y salidas analógicas (OA). Además incluye una entrada y salida predeterminadas para audio.

Adicionalmente, la tarjeta cuenta con 3 terminales destinados a ser utilizados por el multímetro digital (DDM) y fuentes de alimentación. Estos componentes son clave para medir y suministrar la energía necesaria en los experimentos.

La parte interna fue diseñada por Texas Instruments y contienen varios circuitos integrados. Entre ellos, se encuentra los ADC (convertidores analógicos-digitales), los DAC (convertidores digitales-analógicos), multiplexores y amplificadores. Estos

circuitos integrados son esenciales para el procesamiento de señales y la conversión entre señales grabadas y digitales.

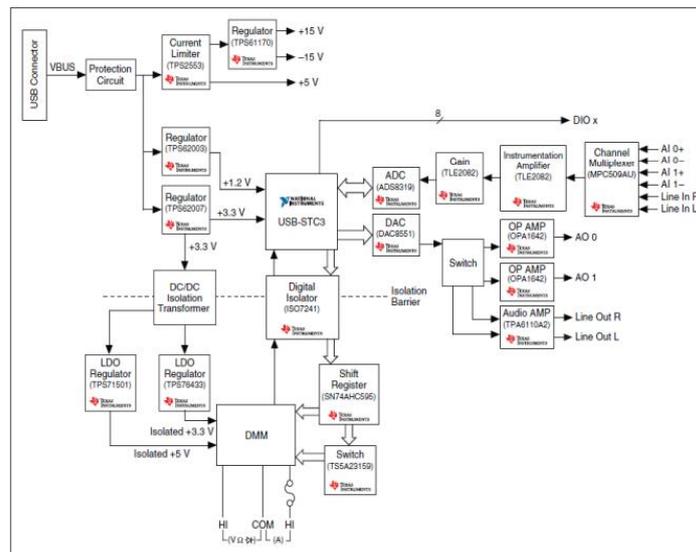


Figura 8. Hardware interno de la tarjeta NI MyDAQ

• Entradas Analógicas (AI)

La tarjeta MyDAQ está equipada con 2 entradas analógicas configurables. Estas entradas son versátiles y pueden trabajar con tensiones diferenciales o señales de entrada de audio. Tienen un rango de captura de señales que va desde -10V hasta 10V. Importante destacar que estas entradas pueden convertir señales analógicas a digitales a través de un proceso multiplexado, lo que nos permite medir con precisión magnitudes analógicas en nuestros experimentos.

• Salidas Analógicas (AO)

Además de las entradas, la tarjeta MyDAQ cuenta con 2 salidas analógicas configurables. Estas salidas pueden utilizarse para generar señales de audio o tensiones de salida controladas- la presencia de un convertidor digital-analógico (DAC) en estas salidas nos permite generar señales en un rango de ± 10 , lo que es esencial para controlar y generar salidas precisas.

• Entradas/Salidas Digitales (DIO)

La tarjeta MyDAQ ofrece 8 entradas y salidas digitales, cada una de las cuales puede configurarse tanto como entrada como salida, lo que brinda gran flexibilidad en su uso. Es importante tener en cuenta que esta tarjeta es compatible con circuitos TTL (Lógica transistor a transistor) y puede soportar voltajes entre ± 5 en estos casos.

Sin embargo, no es compatible con la tecnología CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), por lo que se requerirían adaptadores o interfaces adicionales para su uso con circuitos CMOS.

• Fuentes de alimentación

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

La tarjeta MyDAQ dispone de 3 fuentes de alimentación, lo que es esencial para proporcionar la energía necesaria a los deportivos y componentes utilizados en nuestros experimentos. Una fuente de 5V se utiliza para alimentar dispositivos digitales e integrados, mientras que dos fuentes de ± 15 alimentan amplificadores operacionales y reguladores lineales. Esto asegura que los componentes funcionen adecuadamente y que las mediciones sean precisas.

• Contadores y Temporizadores

La tarjeta MyDAQ cuenta con 8 líneas DIO, de las cuales las tres primeras (DIO 0, DIO 1, DIO 3) cumplen las funciones de contador/temporizador. Estas líneas pueden utilizarse para medir intervalos de tiempo o contar eventos, lo que es útil en aplicaciones de temporización y medición de frecuencia. DIO 0 se utiliza como fuente, DIO1 como puerto y DIO 3 como salida en estas funciones.

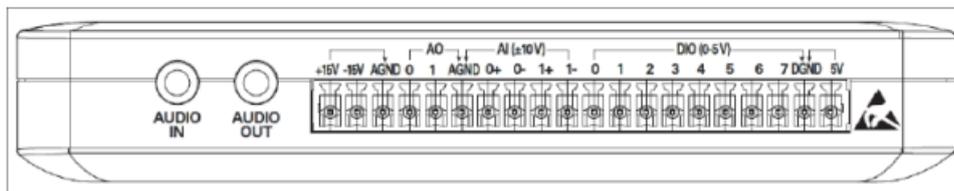


Figura 9. Vista Lateral de la tarjeta NI MyDAQ

Una de las principales ventajas de la interfaz de la tarjeta NI MyDAQ es su alta portabilidad y facilidad de transporte. Esto significa que es conveniente llevarla a diferentes lugares o entornos de experimentación, lo que facilita su uso en una variedad de configuraciones experimentales.

La interfaz de la tarjeta es fácil de utilizar y se integra de manera fluida con una amplia gama de sensores. Esto la convierte en una herramienta versátil para la adquisición de datos, ya que facilita la configuración y la recopilación de información de sensores en diferentes tipos de experimentos. Además, es compatible con diversos tipos de computadoras, sistemas operativos y el software LabVIEW. Esto significa que se puede utilizar en una variedad de configuraciones de hardware y software, lo que facilita su integración en proyectos de investigación que utilizan diferentes tecnologías.

Cabe destacar, sin embargo, que también se presentan ciertas limitaciones dignas de consideración. En primer lugar, la tarjeta no es inherentemente compatible con algunos sensores, lo que puede requerir la adquisición de adaptadores o la implantación de interfaces adicionales para establecer una conexión adecuada. Además, es esencial tener presente que la fuente de corriente, máxima se encuentra limitada a 500 mA, lo que subraya la importancia de entender plenamente los requisitos energéticos de los dispositivos conectados a fin de evitar sobrecargas potencialmente perjudiciales.

Por otro lado, es relevante notar que la velocidad máxima de adquisición de datos está limitada a 200 muestras por segundo. Esta restricción puede resultar insuficiente en determinadas situaciones que exigen una velocidad de adquisición más elevada. En

tales casos, podría ser necesario emplear una tarjeta con capacidades superiores capaces de adquirir datos a tasas de muestreo más altas.

Es importante destacar que la tarjeta NI MyDAQ ofrece compatibilidad con varios lenguajes de programación, incluyendo LabVIEW, que es el lenguaje utilizado para el desarrollo de este proyecto. Asimismo, puede ser utilizado con lenguajes como C/C++, Python y .NET aprovechando las bibliotecas y funciones proporcionadas por National Instruments para llevar a cabo la adquisición de datos de la tarjeta de manera efectiva.

3.2 Diseño de una aplicación para audiometrías

El propósito de esta aplicación reside en la evaluación cuantitativa de las deficiencias auditivas en cada oído de un individuo de forma independiente. Los resultados se derivan de una representación gráfica que exhibe la amplitud mínima perceptible para cada frecuencia. A partir de estos datos, se procede a calcular el grado de pérdida auditiva experimentada por el paciente.

Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario diseñada para llevar a cabo la evaluación auditiva consta de varios elementos clave. Primero, se presenta al usuario con dos botones, uno para la selección del oído izquierdo y otro para el oído derecho, permitiendo al usuario elegir cuál de los dos oídos desea. Aunque es posible examinar un oído a la vez, se recomienda realizar la prueba en cada oído por separado para obtener resultados óptimos.

Una vez seleccionado el oído, la persona a cargo de la evaluación tiene a su disposición un botón adicional. Cuando el paciente escucha el sonido proporcionado, esta persona presionará el botón, lo que generará una representación gráfica que mostrará la pérdida auditiva experimentada por el paciente. Además, hay un indicador LED que se iluminará cuando esté reproduciendo el sonido.

Además, la interfaz cuenta con un botón de configuración que permite ajustar la frecuencia y la amplitud del sonido que se está generando. La interacción con este botón es necesaria tanto en casos donde el paciente percibe el sonido como en situaciones en las que no lo hace, para continuar el proceso de evaluación de manera adecuada.

Una vez finalizada la evaluación en ambos oídos, se generará un archivo que contendrá una representación gráfica detallada, diseñada para identificar posibles deficiencias auditivas en el paciente. Este archivo será una herramienta valiosa para el diagnóstico y el seguimiento de la salud auditiva

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

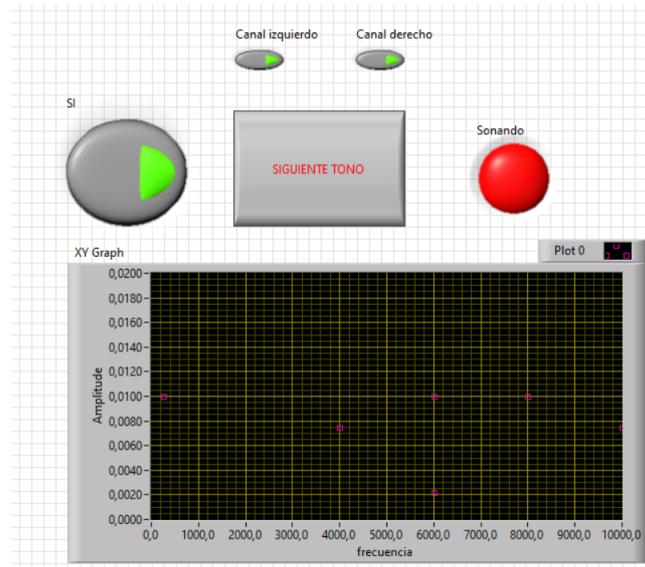


Figura 10. Interfaz Usuario

El usuario solo necesita seleccionar la oreja con la que realizar el estudio, todo lo demás ya está preconfigurado en la aplicación. A continuación, explicaremos como se ha diseñado esta aplicación.

Arquitectura del software

Para desarrollar esta aplicación, hemos incorporado una subrutina que genera frecuencias y sus respectivas amplitudes de manera aleatoria. Se han elegido cuidadosamente las siguientes frecuencias de octava: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 y 10000 Hz.

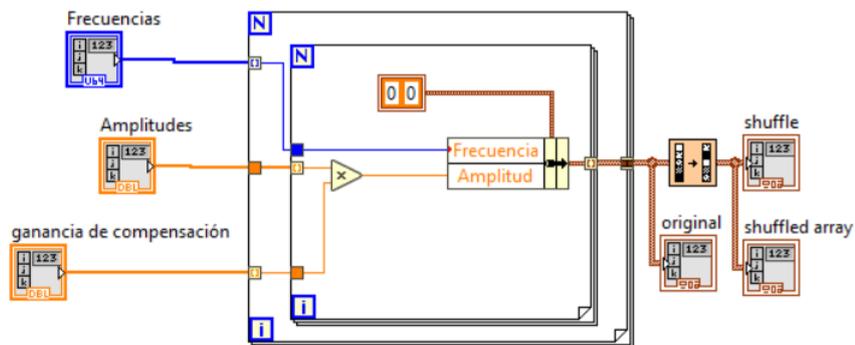


Figura 11. Subrutina de frecuencias y amplitudes aleatorias

En el contexto de este estudio, aplicamos un proceso de ganancia de compensación a cada frecuencia sonora, teniendo en cuenta su amplitud en un momento específico. La finalidad principal de esta estrategia es igualar la percepción auditiva de frecuencias graves y agudas, de modo que ambas sean percibidas con una intensidad comparativa.

Es crucial tener en cuenta que la percepción auditiva en los seres humanos varía significativamente según la frecuencia del sonido. En términos generales, las frecuencias que caen en el rango de 1000 Hz a 5000 Hz son más fácilmente percibidas por la mayoría

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

de las personas. No obstante, es esencial destacar que las frecuencias más agudas y graves requieren un nivel de intensidad sonora considerablemente mayor para ser percibidas de manera equitativa. Estas discrepancias en la percepción se deben a las características de la sensibilidad auditiva que el oído humano muestra en distintas franjas de frecuencia.

Este enfoque garantiza una evaluación más precisa y equitativa de las capacidades auditivas, considerando la variabilidad de percepción en función de la frecuencia.

Para determinar la forma adecuada de ajustar la intensidad del sonido en función de la frecuencia, nos basamos en las curvas de Fletcher y Munson, que proporcionan una representación precisa de la sensibilidad del oído humano a diferentes frecuencias a lo largo de un amplio rango de niveles de intensidad sonora. Nuestro enfoque se centra particularmente en la curva correspondiente a 10 fonios como punto de referencia, ya que este valor se considera representativo de la percepción auditiva promedio.

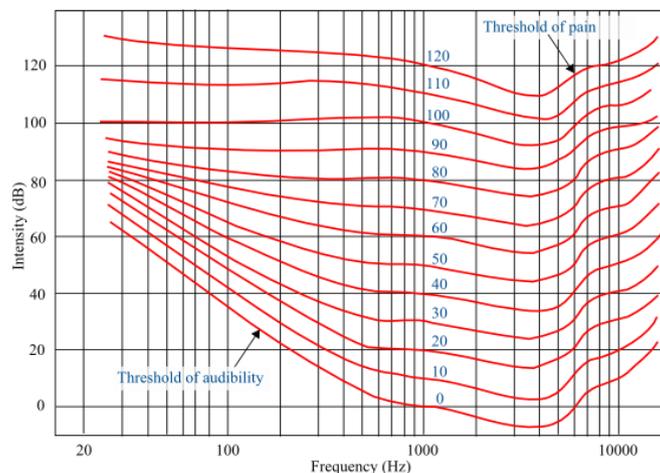


Figura 12. Curvas isofónicas de Fletcher y Munson

Para determinar el método adecuado para ajustar la intensidad del sonido en relación a la frecuencia, empleamos las curvas de Fletcher y Munson. Estas curvas proporcionan una representación precisa de la manera en que el oído humano percibe distintas frecuencias a lo largo de una amplia gama de niveles de intensidad sonora. Nuestra principal consideración se enfoca en la curva relacionada con 10 fonios, que utilizamos como punto de referencia. La conversión de esta relación a unidades logarítmicas es equivalente a multiplicar la amplitud correspondiente por un factor de 0,1

La elección de una frecuencia central de 4000 Hz se fundamenta en su umbral de audición más bajo, lo que motiva la aplicación de una ganancia de 3 dB en nuestra aplicación. Hemos establecido un valor de 0,03 unidades logarítmicas como estándar en enfoque nuestro. Conforme nos desplazamos desde esta frecuencia central en ambas direcciones, ya sea hacia frecuencias más agudas o más graves, se produce un aumento gradual en la curva del umbral de audición. Esto se traduce en un incremento correspondiente en la ganancia de compensación aplicada.

Esta elección estratégica de la frecuencia central y la adaptación de la ganancia en función de la distancia respecto a esta frecuencia son esenciales para garantizar una

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

percepción auditiva equitativa en toda la gama de frecuencias. Además, este enfoque se basa en la sólida comprensión de la respuesta auditiva humana y contribuye a la mejora de la precisión en la evaluación auditiva, especialmente en situaciones clínicas.

Para el resto de frecuencia la ganancia va quedar como en la siguiente figura:

Frecuencias	Ganancia de Compensación
125	0,4
250	0,25
500	0,17
1000	0,10
2000	0,05
4000	0,03
8000	0,17

Tabla 1. Ganancia de compensación para cada frecuencia

Para determinar las amplitudes mínimas necesarias en nuestro examen auditivo, se llevó a cabo una investigación exhaustiva que involucró a un grupo diverso de individuos de diferentes edades que gozaban de buena salud auditiva. El objetivo primordial de este estudio era identificar la amplitud mínima requerida para que cada frecuencia específica sea perceptible. Los resultados de las pruebas arrojaron los siguientes valores: 0.001, 0.0015, 0.005 y 0.01.

La elección de las amplitudes de sonido se ve influida principalmente por el tipo de auriculares seleccionados, y esta decisión está condicionada por diversos factores, como el tipo de auricular, la respuesta de frecuencia, la impedancia, la sensibilidad y la calidad de los materiales. En este contexto, hemos optado por los auriculares the t.bone HD 800.



Figura 13. Auriculares the t.bone HD 800

Este modelo en particular presenta una respuesta en frecuencia que abarca desde los 20 Hz hasta los 20.000 Hz, caracterizándose además por ser de tipo cerrado y contar con una impedancia de 64 Ohm. Estas especificaciones técnicas influyen significativamente en la experiencia auditiva, proporcionando un rango de sonido específico y determinando la eficiencia con la que los auriculares convierten la señal eléctrica en una experiencia sonora inversiva.

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

En el contexto de nuestro estudio, durante la evaluación auditiva, se generarán de manera aleatoria frecuencias y amplitudes seleccionadas mediante un generador de tonos. Este enfoque nos permite ajustar la intensidad del sonido de manera precisa y equitativa para evaluar la percepción auditiva de las frecuencias en una variedad de situaciones, lo que contribuye significativamente a la calidad y confiabilidad de nuestro examen auditivo.

La etapa final de nuestra aplicación involucra la recopilación y el registro sistemático de las frecuencias junto con las amplitudes percibidas, almacenándolos en un archivo de datos. Estos datos se visualizarán de manera gráfica en un diagrama donde las frecuencias se representan en el eje X y las amplitudes en el eje Y.

Para llevar a cabo esta tarea de recopilación y representación gráfica, hemos desarrollado un algoritmo que utiliza un bucle "For" en combinación con un clúster. Este clúster tiene la función de extraer los datos del conjunto de frecuencias audibles, organizándolos de manera coherente en el archivo de datos. Este archivo resultante servirá como una valiosa herramienta de referencia, permitiendo un análisis más profundo de la percepción auditiva de los sujetos evaluados, y facilitando la detección de posibles patrones o deficiencias auditivas.

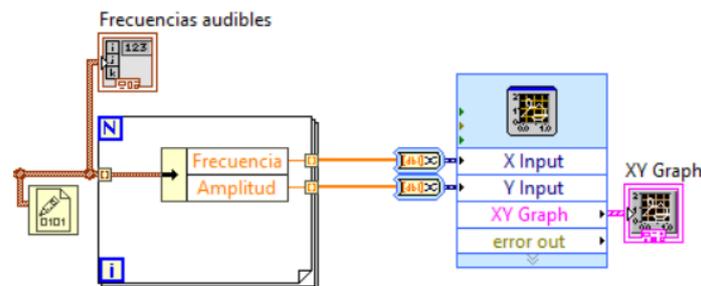


Figura 14. Generación de la gráfica

En el ámbito de los componentes de hardware utilizados para nuestra aplicación, destacamos la tarjeta MyDAQ, previamente mencionada, que desempeña un papel fundamental en el funcionamiento y utilidad de nuestro sistema. Esta tarjeta, diseñada para aplicaciones de adquisición de datos y control, se convierte en un elemento esencial en el proceso de evaluación auditiva que hemos desarrollado.

Además de la tarjeta MyDAQ, es imprescindible contar con unos auriculares de alta calidad que se conectan al puerto de salida de audio (Audio OUT) de la tarjeta MyDAQ. A través de este puerto, se emiten los sonidos que el paciente escuchará durante la realización del examen auditivo. La elección de auriculares adecuados es crucial para garantizar una reproducción fiel y precisa de los tonos y sonidos, lo que incide directamente en la precisión y confiabilidad de la evaluación auditiva.

La tarjeta MyDAQ y los auriculares seleccionados conforman una combinación esencial para el éxito de nuestro enfoque de evaluación auditiva, ya que proporcionan las herramientas necesarias para generar y presentar los estímulos auditivos de manera controlada y precisa a los pacientes. Además, estos componentes contribuyen a la consistencia y calidad de los resultados obtenidos en el proceso de evaluación.

3.3 Diseño del ecualizador

En esta segunda aplicación, nuestro objetivo es realizar un ajuste preciso y un control efectivo del espectro de frecuencias de una señal de audio. Este proceso nos brinda la capacidad de modificar las características tonales de la música o el sonido mediante el aumento o la disminución de la amplitud en bandas de frecuencias específicas.

Para llevar a cabo la implementación del ecualizador, hemos desarrollado un banco de filtros diseñado meticulosamente, el cual dispone de 3 filtros. Este banco divide el espectro de frecuencias en múltiples bandas más estrechas y manejables, a incluir todas las frecuencias que pretende analizar y ajustar. Si usásemos un solo filtro actuaría en todo el rango de frecuencias de manera uniforme.

La singularidad de nuestro banco de filtros radica en la incorporación de ventanas de Kaiser en el proceso de diseño. Las ventanas de Kaiser son funciones matemáticas que se aplican estratégicamente a cada filtro dentro del banco. Estas ventanas son fundamentales para lograr un control preciso de la respuesta en frecuencia de cada filtro, lo que nos permite definir con exactitud las características de atenuación, ancho de banda y transición entre las bandas de paso y de parada. Además, cabe destacar que hemos seleccionado una longitud de onda de 446, lo que influye significativamente en la precisión y resolución de nuestro banco de filtros.

La coordinación de los filtros en el banco se realiza cuidadosamente, permitiendo la superposición controlada de las bandas de paso y de parada entre filtros adyacentes. Esto asegura una transición suave y evita interferencias no deseadas entre los filtros.

El primer filtro empleado es el filtro de paso bajo, cuya función principal es atenuar las frecuencias a partir de la marca de 125 Hz, permitiendo el paso sin atenuación de las frecuencias más bajas. En cambio, los filtros de paso alto se configuran para permitir el paso sin atenuación de las frecuencias más altas en nuestra señal, con un límite de 12.000 Hz en este caso.

Los filtros de paso banda son especialmente versátiles y cumplen con la tarea de seleccionar y permitir el paso de frecuencias dentro de rango específicos, mientras que eliminar las frecuencias que se encuentran fuera de estos rangos. La aplicación de ventanas de Kaiser en cada filtro de paso de banda es lo que garantiza una respuesta en frecuencia precisa y controlada, permitiéndonos definir las características tonales de manera detallada.

En conjunto, este sistema de filtros, en combinación con las ventanas de Kaiser y la longitud de filtro de 446, proporcionan un control completo y versátil sobre el espectro de frecuencias de la señal de audio. Esto nos permite realizar ajustes precisos y

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

mejorar la calidad del sonido de acuerdo con nuestras necesidades y preferencias, creando un ecualizador altamente efectivo y adaptable para diversas aplicaciones de procesamiento de señales de audio.

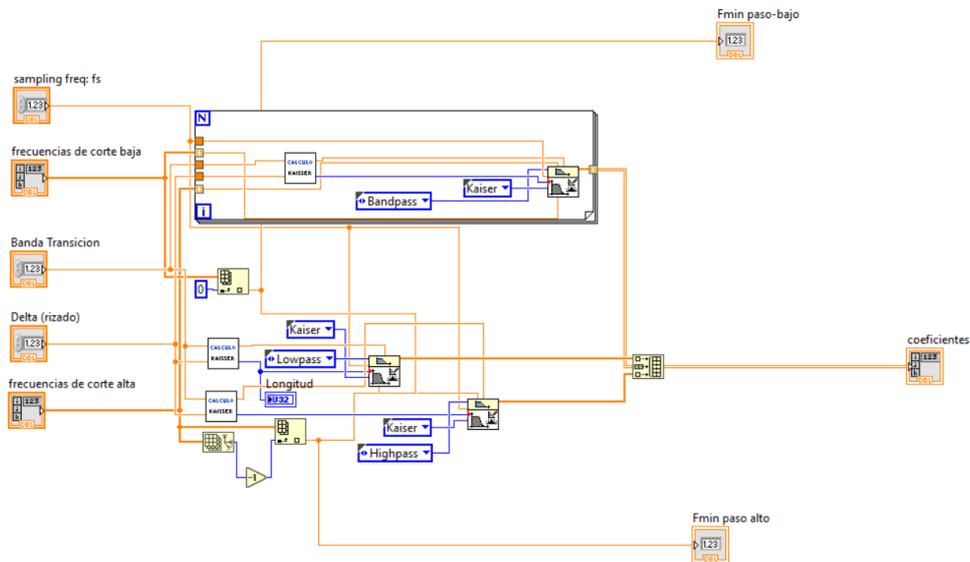


Figura 15. Diseño de un banco de filtro

Cuando diseñamos un banco de filtros, necesitamos asegurarnos de que funcione como se espera. Para llevar a cabo esta evaluación, empleamos una herramienta llamada “respuesta frecuencial” que nos proporciona una comprensión de cómo los filtros en el banco afectan a las diferentes frecuencias presentes en una señal en una señal.

Usamos la “Transformada de Fourier” para obtener una respuesta frecuencial. Esta transformada es una herramienta matemática que toma la señal de entrada y la descompone en sus componentes de frecuencia individuales. Al hacer esto, podemos visualizar que ocurre con cada frecuencia en la señal después de pasar por el banco de filtros.

Antes de aplicar los coeficientes del banco de filtros en la transformada de Fourier, se lleva a cabo una etapa previa crucial. Se multiplica cada uno de estos coeficientes por las ganancias correspondientes a cada frecuencia. El propósito fundamental de este procedimiento es normalizar la percepción de todas las frecuencias, asegurando que cada una sea escuchada con la misma intensidad.

Esta normalización es esencial para considerar las variaciones en la amplificación o atenuación esperadas para cada componente de frecuencia específica. De esta manera, se busca evitar la pérdida auditiva y lograr una experiencia auditiva equilibrada y fiel a la realidad.

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

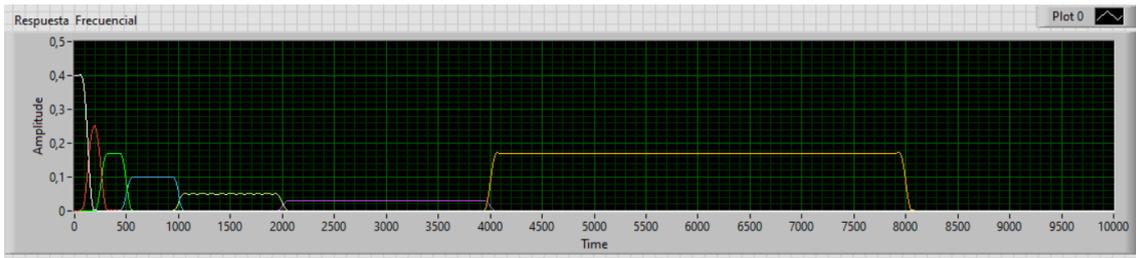


Figura 16. Respuesta frecuencial del banco de filtro

Para lograr una salida coherente y ajustada a las características auditivas individuales, cada frecuencia pasa a través de un filtro FIR antes de aplicar la ganancia. Este proceso adicional permite afinar la señal en cada etapa, preparándola para la combinación final de las salidas de los filtros.

La señal que finalmente escuchamos en la salida del sistema debe ser el resultado de la combinación de todas las salidas de los filtros. Cada una de estas salidas, ajustada por la ganancia correspondiente a su frecuencia, contribuye de manera significativa a prevenir la pérdida auditiva y garantizar una representación sonora precisa.

En el proceso de diseño, es crucial considerar la variabilidad en la respuesta auditiva individual y adaptar el sistema en consecuencia. La aplicación de las ganancias y los filtros FIR no solo busca corregir las variaciones de intensidad de frecuencia, sino también proporcionar una experiencia auditiva personalizada y optimizada para cada usuario.

Capítulo 4

Pruebas y Resultados

4.1 Obtención de las audiometrías

Para la realización de audiometrías, el procedimiento es crucial tanto en la evaluación de la salud auditiva como en la posterior toma de decisiones terapéuticas. A continuación, se describe en detalle cómo se lleva a cabo una audiometría, enfocándonos en un enfoque más detallado.

El primer paso es informar al paciente sobre la naturaleza de la prueba. Es vital que el paciente comprenda en qué consiste la audiometría y esté preparado para participar activamente en el proceso. Antes de comenzar la prueba, se llevará a cabo una entrevista inicial en la que se recopilará información relevante del historial médico del paciente, incluyendo antecedentes de problemas auditivos o exposición a ruidos fuertes.

La audiometría se realiza en una sala especialmente acondicionada, combinada con una cabina insonorizada. La elección de este entorno es esencial para minimizar la interferencia de ruidos externos, garantizando la precisión de la prueba. Además, se proporcionan auriculares que aíslan eficazmente los sonidos del entorno para evitar cualquier distracción durante la prueba.

Una vez que el paciente esté debidamente ubicado en la cabina insonorizada y equipada con los auriculares, se procede con la evaluación auditiva. Esta fase implica la emisión de tonos puros de diferentes frecuencias, variando desde sonidos graves hasta sonidos agudos. El objetivo principal es determinar la intensidad mínima de sonido que el paciente puede escuchar en cada una de estas frecuencias.

Para indicar que han escuchado un sonido, el paciente utilizará un método, como levantar. Cada respuesta se registra cuidadosamente, creando un conjunto de datos que se utilizarán posteriormente para elaborar un audiograma.

Una vez finalizada la audiometría, el profesional de la salud auditiva analiza los datos recopilados y procede a la creación de un audiograma. Este gráfico muestra las respuestas del paciente a lo largo de las diferentes frecuencias y niveles de intensidad, revelando claramente su capacidad auditiva.

La interpretación de los resultados implica la identificación de cualquier pérdida auditiva, la determinación de su grado y tipo. Los resultados se explican al paciente de manera comprensible, lo que puede incluir la necesidad de intervenciones, como el uso de audífonos u otros dispositivos auditivos. En caso de ser necesario, el paciente puede ser derivado a un especialista en audiología para una evaluación más profunda y una orientación terapéutica precisa.

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

Para las pruebas de este estudio hemos seleccionado una serie de personas de diferentes edades y algunas con problemas auditivos:

El *Usuario 1* tiene una edad de 21 años y no presenta historial médico significativo relacionado con problemas auditivos. No hay antecedentes de infecciones recurrentes del oído, traumatismo craneal ni exposición a ruidos intensos que puedan haber afectado la audición.

Lo dividimos en tres partes, primero con el izquierdo, luego el derecho y por último por ambos.

- Con respecto al oído izquierdo, se observó que la frecuencia de 2.000 Hz no era perceptible para amplitudes inferiores a 0,005 Vpp. Por otro lado, la frecuencia de 4.000 Hz mostró una perceptibilidad a partir de amplitudes de 0,0015 Vpp, siendo más claramente detectable a 0,001 Vpp. El resto de frecuencias son perfectamente detectadas para todas las amplitudes.

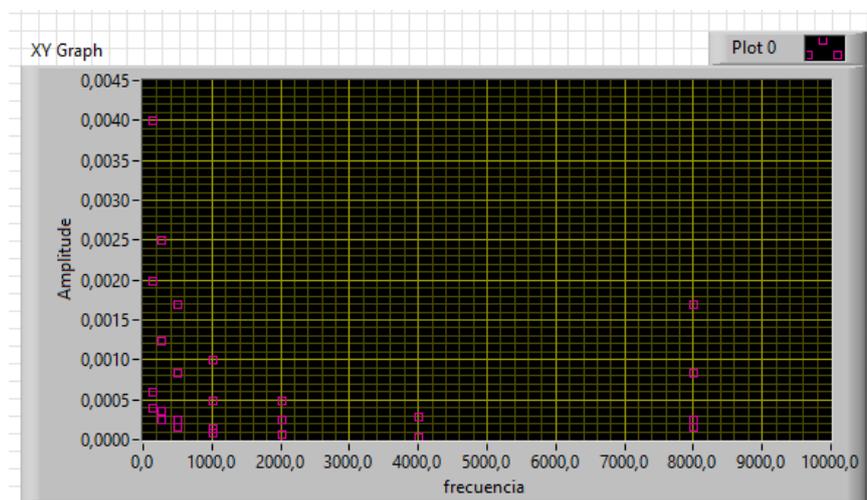


Figura 17. Oído izquierdo del Usuario 1

- En el contexto de la evaluación del oído derecho, se ha observado que las amplitudes requeridas para la percepción de la frecuencia de 2.000 Hz son consistentes con las detectadas en el oído izquierdo. Sin embargo, en el caso de la frecuencia de 4.000 Hz, solo se percibe la amplitud de 0,01 Vpp, mientras que las demás amplitudes no resultan perceptibles, a pesar de la percepción nítida de otras frecuencias evaluadas.

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

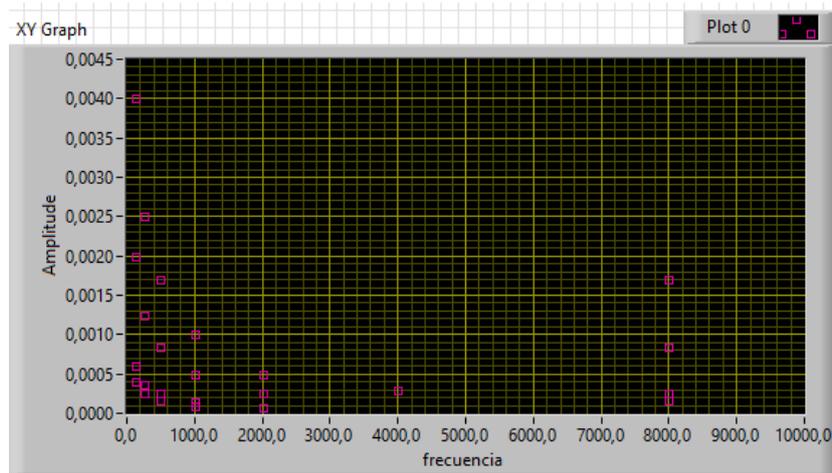


Figura 18. Oído derecho del Usuario 1

- En la evaluación auditiva que involucra ambos oídos, se evidencia que el usuario exhibe la capacidad de percibir la frecuencia de 4000 Hz a partir de una amplitud mínima de 0,0015 Vpp. Para la frecuencia de 2000 Hz, la percepción de amplitudes se inicia a partir de 0,005 Vpp.

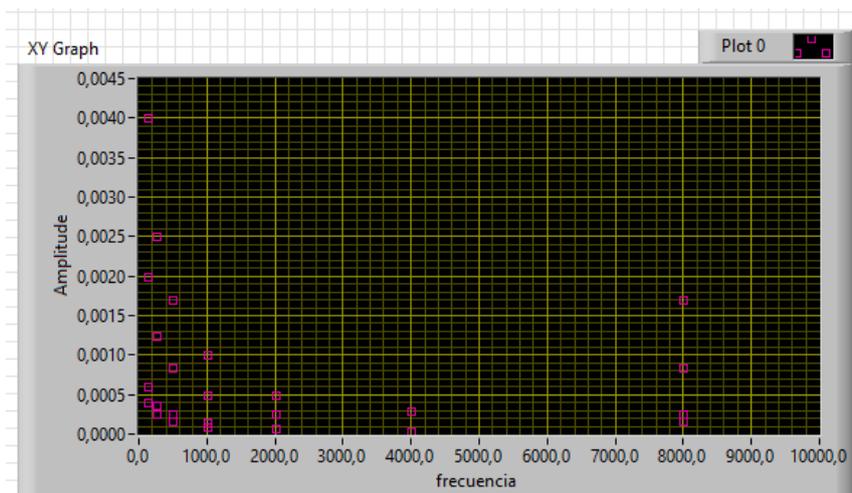


Figura 19. Ambos oídos del Usuario 1

Los resultados de la audiometría tonal revelan umbrales auditivos normales en todas las frecuencias evaluadas. Se recomienda continuar monitoreando la audición de manera periódica para detectar cualquier cambio en el futuro.

El Usuario 2 tiene una edad de 65 años, el cual no presenta antecedentes auditivos ni de exposición prolongadas a ruidos intensos. No hay antecedentes de enfermedades o afecciones médicas que puedan estar relacionadas con la pérdida de audición. El paciente ha buscado evaluación auditiva debido a la percepción de dificultades en la comunicación, como la necesidad de aumentar el volumen de la televisión. Se le realiza una audiometría tonal de la cual se obtienen los resultados mostrados a continuación, la primera tabla corresponde al oído izquierdo, la segunda al derecho y la última a ambos oídos.

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

Frecuencias (Hz)	Amplitudes
125	0,005/0,01
250	0,005/0,01
500	0,005/0,01
1000	0,001/0,005/0,01
2000	0,005/0,01
4000	-----
8000	-----

Tabla 2. Frecuencias y amplitudes del oído izquierdo del Usuario 2

Frecuencias (Hz)	Amplitudes
125	0,005/0,01
250	0,001/0,005/0,01
500	0,001/0,005
1000	0,001/0,005/0,0015/0,01
2000	0,005/0,01
4000	-----
8000	-----

Tabla 3. Frecuencias y amplitudes del oído derecho del Usuario 2

Frecuencias (Hz)	Amplitudes
125	0,005/0,01
250	0,005/0,01
500	0,001/0,005/0,01
1000	0,001/0,005/0,0015/0,01
2000	0,005/0,01
4000	-----
8000	-----

Tabla 3. Frecuencias y amplitudes de ambos oídos del Usuario 2

Obtenemos las siguientes conclusiones de estos resultados:

1. Frecuencias Bajas (250 Hz – 1000 Hz)

Las frecuencias bajas son perceptibles para casi todas las amplitudes. No se observa pérdida auditiva significativa en este rango.

2. Frecuencias Medias (2000 Hz – 4000 Hz)

Pérdida auditiva moderada ya que percibe la frecuencia de 2000 Hz pero no la de 4000 Hz.

3. Frecuencias altas (6000 Hz – 8000 Hz)

Se constata una pérdida auditiva severa, ya que el paciente no percibe estas frecuencias en ninguna amplitud. La afectación en el rango de frecuencias altas indica una limitación significativa en la percepción de sonidos agudos.

Basándonos en los resultados de la evaluación auditiva, se confirma la presencia de una pérdida de audición bilateral, con afectación más notable en las frecuencias de alta frecuencia. Se recomienda una evaluación más detallada para determinar la etiología de la pérdida auditiva y establecer un plan de tratamiento adecuado. Se sugiere la consulta con un especialista en audiología para una evaluación más completa y la consideración de opciones de rehabilitación auditiva, que podrían incluir el uso de dispositivos auditivos.

El Usuario 3, sujeto de la presente prueba de audición, ha proporcionado información relevante respecto a su historial auditivo y exposición a ruidos. Se confirma que no tiene antecedentes conocidos de problemas auditivos previos a este examen. Asimismo, se destaca que no está expuesto regularmente a entornos ruidosos o situaciones que podrían haber contribuido a una pérdida de audición.

Durante la entrevista inicial, el Usuario 3 expresó no haber experimentado ninguna sensación de pérdida auditiva aparente en su vida diaria. No ha notado dificultades para escuchar sonidos o comunicarse en diversas situaciones. Esta información es valiosa para establecer un punto de partida claro en la evaluación de su capacidad auditiva y permite contextualizar los resultados obtenidos durante la prueba.

En una primera evaluación del oído izquierdo, observamos que la amplitud mínima con la que percibe la frecuencia de 125 Hz es de 0,005, así como en las frecuencias de 250 Hz y 2000 Hz. Sin embargo, destaca que en las frecuencias de 125 Hz y 2000 Hz, no logra percibir la amplitud de 0,0015 Vpp. Se registra una percepción muy leve de la frecuencia de 4.000 Hz a una amplitud de 0,01, mientras que no es capaz de percibir la frecuencia de 8.000 Hz.

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

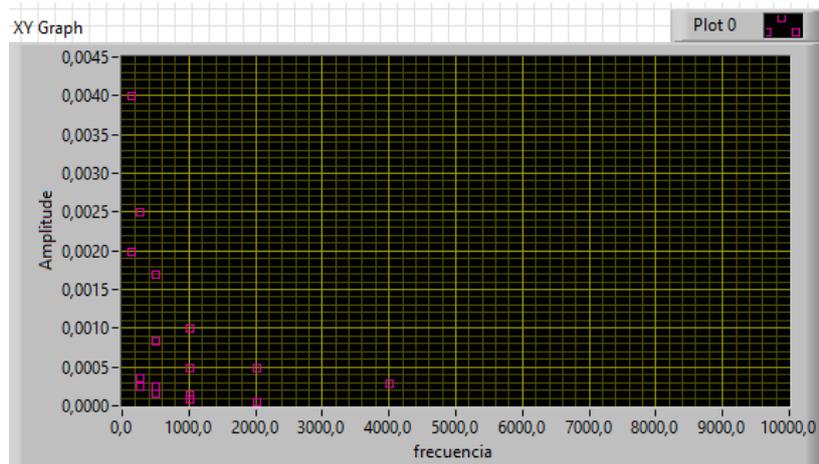


Figura 20. Oído izquierdo del Usuario 3

En el oído derecho, se detecta la frecuencia de 125 Hz con una amplitud mínima de 0,005 pero a mayores es capaz de percibir esta frecuencia con una amplitud de 0,0015 al contrario que con izquierdo. La frecuencia de 2.000 Hz se percibe con la misma amplitud que en el oído izquierdo. Sin embargo, las frecuencias de 4.000 Hz y 8.000 Hz no son detectadas en este oído.

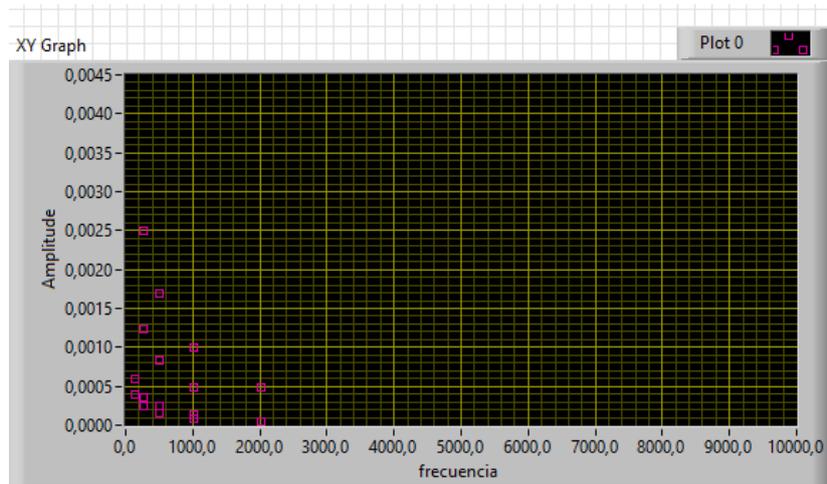


Figura 21. Oído derecho del Usuario 3

En la última prueba realizada con ambos oídos para este Usuario, se observa que las frecuencias altas (4.000 Hz y 8.000 Hz) no son percibidas. La amplitud mínima con la que se detectan las frecuencias de 125 Hz, 250 Hz y 2.000 Hz es de 0,005, mientras que para las frecuencias de 500 Hz y 1.000 Hz, la amplitud mínima perceptible es de 0,001.

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

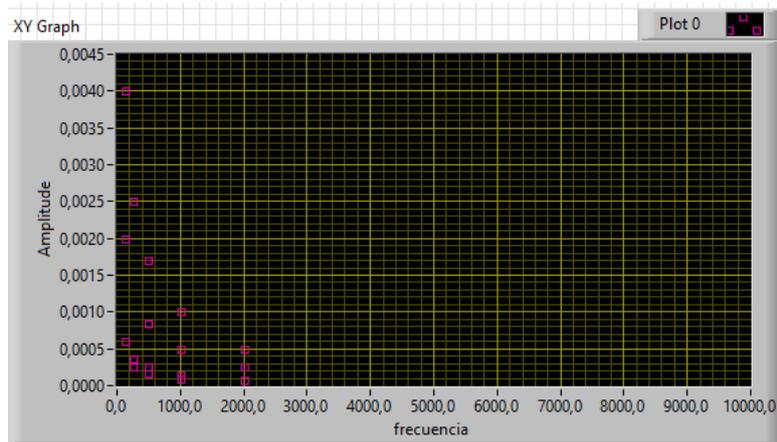


Figura 22. Ambos oídos del Usuario 3

La evaluación indica que la persona tiene una dificultad para escuchar frecuencias altas, lo cual se clasifica como "hipoacusia de altas frecuencias". Esto significa que existe una limitación en la capacidad auditiva para percibir sonidos en el rango de frecuencias altas, generalmente por encima de los 2.000 Hz. Este tipo de pérdida auditiva puede afectar la capacidad de escuchar sonidos agudos y puede tener diversas causas, como el envejecimiento, exposición a ruidos fuertes, trauma acústico u otros factores

El Usuario 4 es una paciente que, con el transcurso del tiempo, ha experimentado una disminución en su capacidad auditiva, aunque aún no ha consultado a ningún especialista para confirmarlo. Tiene 70 años de edad, y es importante destacar que la pérdida de audición es común con el envejecimiento, incluso si no ha estado expuesta a niveles elevados de volumen.

Este Usuario tiene dificultad para percibir las altas frecuencias, pero también las bajas (125, 250 y 500 HZ) en las amplitudes más bajas.

Como con los anteriores Usuarios realizamos el estudio con los oídos por separado y por último con ambos. Con el primero de ellos, el izquierdo observamos:

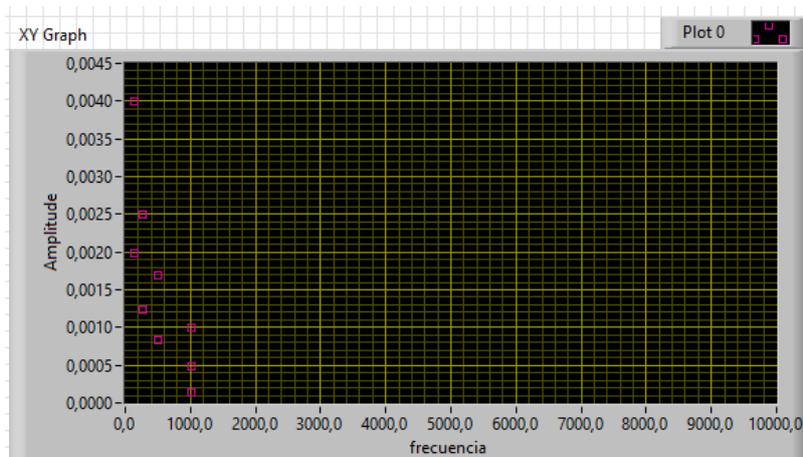


Figura 23. Oído izquierdo del Usuario 4

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

No logra detectar frecuencias que superen los 1.000 Hz, y las frecuencias de 125, 250 y 500 Hz solo son percibidas cuando las amplitudes son de 0,005 y 0,01. No obstante, puede percibir la frecuencia de 1.000 Hz con una amplitud de 0,0015.

En el oído derecho, se presenta una situación similar, donde puede percibir de manera sutil las frecuencias de 2.000 y 4.000 Hz con una amplitud de 0,01. Además, detecta la frecuencia de 250 Hz con una amplitud de 0,0015, mientras que la frecuencia de 500 Hz solo es perceptible con una amplitud de 0,01.

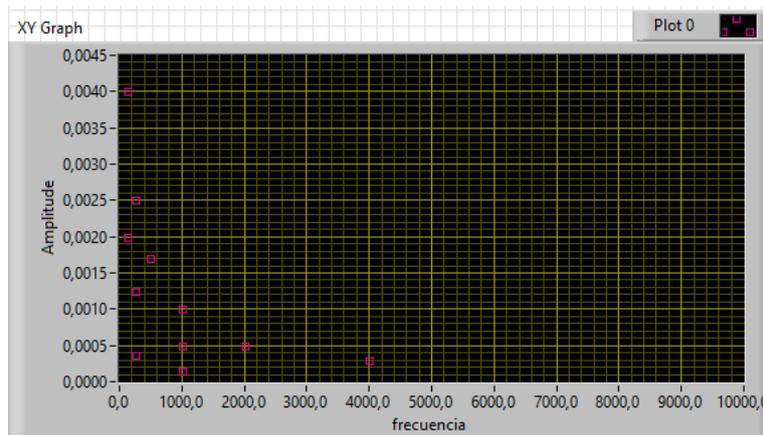


Figura 24. Oído derecho del Usuario 4

En ambos oídos, experimenta una combinación de las dos situaciones previas. Sin embargo, únicamente logra percibir la frecuencia de 2.000 Hz con la máxima amplitud, mientras que para la frecuencia de 500 Hz, detecta dos amplitudes distintas, una de 0,005 y otra de 0,01.

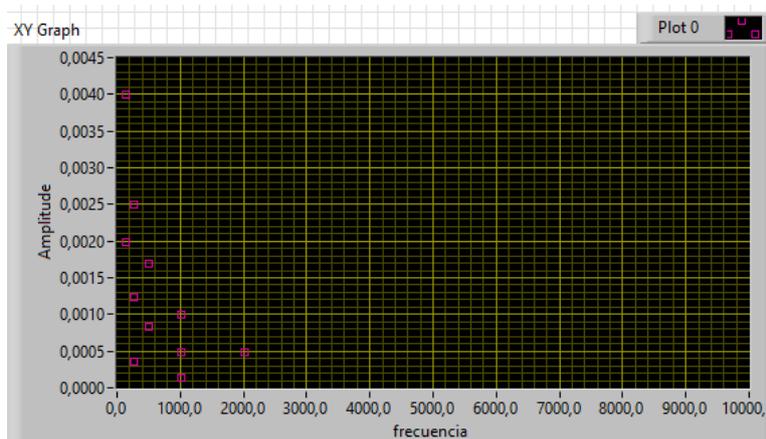


Figura 25. Ambos oídos del Usuario 4

Como resultado, se evidencia que existe una incapacidad para percibir sonidos de alta frecuencia, y solo se logra escuchar sonidos de baja frecuencia cuando son intensos; esta condición se denomina pérdida auditiva selectiva. En términos generales, esto implica dificultades para captar tonos agudos, y únicamente es posible escuchar tonos graves cuando tienen un volumen elevado.

4.1.1 Creación del filtro ecualizador

En el desarrollo del filtro ecualizador, el proceso inicia con la identificación de las frecuencias críticas a partir de los resultados obtenidos en las audiometrías. Estas frecuencias críticas, meticulosamente identificadas en la primera etapa del proceso, sirven como cimiento para la configuración inicial del filtro ecualizador, proporcionando una referencia esencial para la subsiguiente personalización.

La primera fase de este procedimiento implica la detección precisa de las frecuencias críticas mediante un análisis detallado de las audiometrías recopiladas. Estas frecuencias críticas no solo actúan como pilares fundamentales para la configuración inicial del filtro ecualizador, sino que también establecen una base sólida que facilita la adaptación posterior a las necesidades auditivas específicas del individuo.

Después de identificar las frecuencias críticas, realizamos un ajuste preciso en las ganancias del filtro ecualizador. Este ajuste se realiza en estrecha colaboración con los resultados objetivos de las pruebas auditivas y también toma en cuenta la valiosa retroalimentación subjetiva proporcionada por los usuarios del audímetro. Considerar la experiencia subjetiva es crucial para personalizar de manera óptima el filtro, adaptando las ganancias según las preferencias y necesidades auditivas individuales.

En paralelo, durante la realización de la logaudiometría, una técnica específica en el proceso de evaluación auditiva, el individuo se expone a palabras habladas a distintos niveles de intensidad. La tarea consiste en repetir las palabras escuchadas, y a través de este procedimiento, se busca ajustar las intensidades para cada frecuencia hasta que el individuo pueda repetir todas las palabras de manera precisa. En este contexto, es igualmente importante determinar el umbral de incomodidad sonora, el nivel de volumen máximo que el paciente puede tolerar sin experimentar incomodidad. Estos datos adicionales contribuyen a un ajuste más preciso del audímetro y proporcionan información valiosa para adaptar el dispositivo a las necesidades auditivas específicas del usuario.

Hemos elegido específicamente las siguientes frases para esta prueba debido a la necesidad de incorporar una amplia diversidad de sonidos y contextos, abarcando un extenso espectro de frecuencias auditivas. Este enfoque nos permite evaluar de manera integral la respuesta del ecualizador ante diferentes tipos de sonidos. Algunas consideraciones fundamentales para la selección de estas frases incluyen:

- **Amplitud de Frecuencias:** Las frases fueron seleccionadas con el objetivo de cubrir tanto frecuencias altas como bajas. Este criterio es esencial para evaluar la capacidad del ecualizador para adaptarse a la amplia variedad de frecuencias presentes en diversas situaciones auditivas.
- **Variedad de intensidades:** Cada frase contiene sonidos con diferentes niveles de intensidad, desde suaves y sutiles hasta sonidos más fuertes. Esta diversidad contribuye a evaluar la capacidad del ecualizador para ajustarse a cambios en la intensidad del sonido, replicando así escenarios auditivos de la vida diaria.

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

- **Complejidad Auditiva:** Algunas frases fueron seleccionadas específicamente para incluir palabras o sonidos más complejos, desafiando la capacidad del ecualizador para diferenciar detalles auditivos. Este aspecto es crucial para evaluar la fidelidad del dispositivo en la reproducción de sonidos detallados

Las tres frases seleccionadas son las siguientes:

1. "En la casa rosada había 3 plantas y cada una tenía 5 hojas de donde salían 8 margaritas."
2. "En la animada plaza, el murmullo de conversaciones se entrelazaba con el suave tintineo de las fuentes, creando una atmosfera bulliciosa y vibrante."

En esta fase del estudio, nos enfocaremos inicialmente en el Usuario 1 para verificar su capacidad de percepción de frases utilizando la mínima amplitud registrada durante la audiometría, con el propósito de asegurar el correcto funcionamiento de la aplicación.

Se observa que el Usuario 1 logra comprender ambas oraciones con la máxima amplitud de 0,01 con la cual percibía las frecuencias en la audiometría. Aunque demostró la habilidad de percibir todas las frecuencias, incluso con amplitudes mínimas, se observó que con algunas de ellas no lograba entender claramente toda la oración. Es relevante destacar que, a pesar de esta dificultad en la comprensión, el usuario sí percibía los sonidos asociados a dichas frecuencias.

Finalmente, se ajustaron las amplitudes de las frecuencias, aumentando ligeramente algunas para lograr el resultado más óptimo posible. Especialmente para las altas frecuencias, como en los casos de 2,000, 4,000, 8,000 y 10,000 Hz, se obtuvo una amplitud de 0.012 Vpp. El resultado final se puede apreciar en la siguiente imagen:

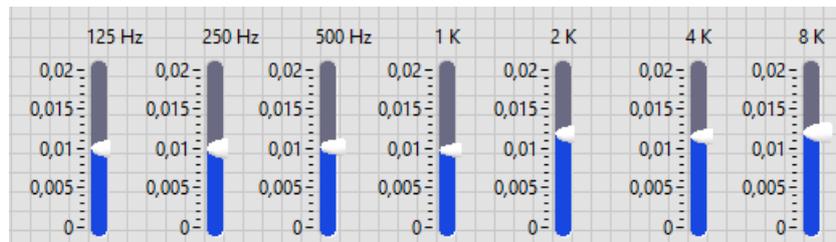


Figura 26. Resultado ecualizador Usuario 1

Finalmente, llevamos a cabo un análisis para contrastar los resultados obtenidos tanto en la audiometría como en el ecualizador. En la audiometría, observamos que las frecuencias bajas son percibidas con la mínima amplitud. Sin embargo, al comprender un texto, fue esencial ajustar estos valores, asignándoles una amplitud de 0,01. Por otro lado, las frecuencias altas solo requirieron un ligero aumento para lograr una comprensión más apropiada.

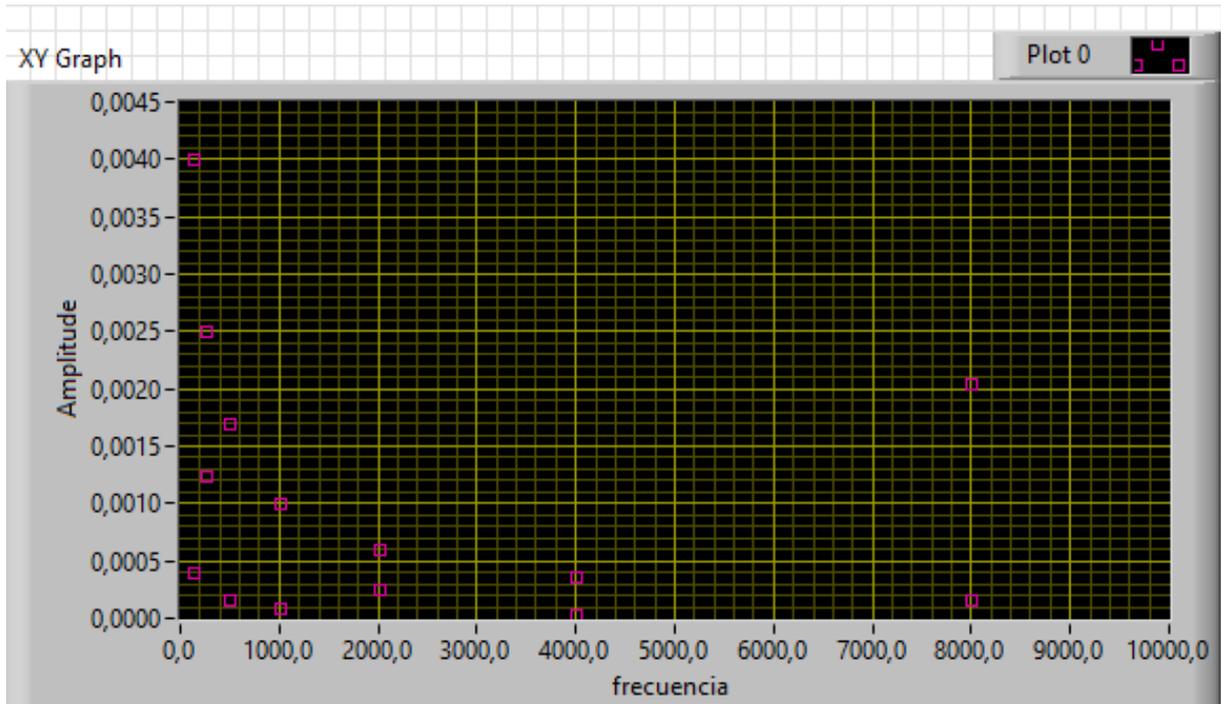
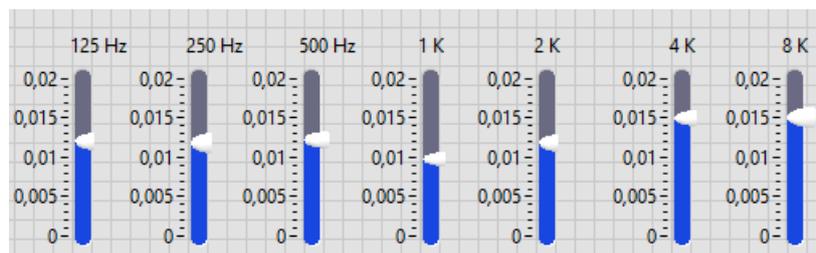


Figura 27. Comparación audiometría/ ecualizador Usuario 1

Durante la audiometría del segundo usuario, se identificó una pérdida de audición que afectó su capacidad para entender claramente la frase con la amplitud máxima de 0,01. Con el propósito de mejorar su experiencia auditiva, se realizaron ajustes específicos: se aumentaron las amplitudes de las frecuencias altas a 0,015, especialmente en las frecuencias de 4,000, 8,000 y 10,000 Hz, asegurando así una reproducción más clara del sonido.

Adicionalmente, se llevaron a cabo ajustes en las frecuencias más bajas, como las de 125, 250 y 500 Hz, estableciendo una amplitud de 0,013, de manera similar a la frecuencia de 2,000 Hz. Estos ajustes fueron fundamentales para personalizar la prueba según las necesidades auditivas específicas del usuario, mejorando la claridad del sonido en diversos rangos de frecuencia.

Es relevante subrayar que la cuidadosa personalización de estos ajustes fue crucial para abordar las particularidades de la pérdida auditiva del usuario. Específicamente, con la frecuencia de 1,000 Hz a 0,01, el usuario pudo comprender todas las palabras de manera perfecta, resaltando la importancia de ajustes precisos en la adaptación de pruebas auditivas. En un tercer escenario, se identificó a otro usuario con problemáticas auditivas similares al Usuario 2, evidenciando la necesidad de ajustes análogos para garantizar una percepción adecuada de la totalidad de la oración.



Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

Figura 28. Resultado ecualizador Usuario 2 y Usuario 3

En este caso, las frecuencias altas no fueron detectadas en la audiometría, por lo que requieren una amplitud superior al máximo evaluado. En cuanto a las frecuencias bajas, estas fueron percibidas con una amplitud superior al umbral del usuario 1, y con un leve aumento logra comprender las oraciones de manera clara.

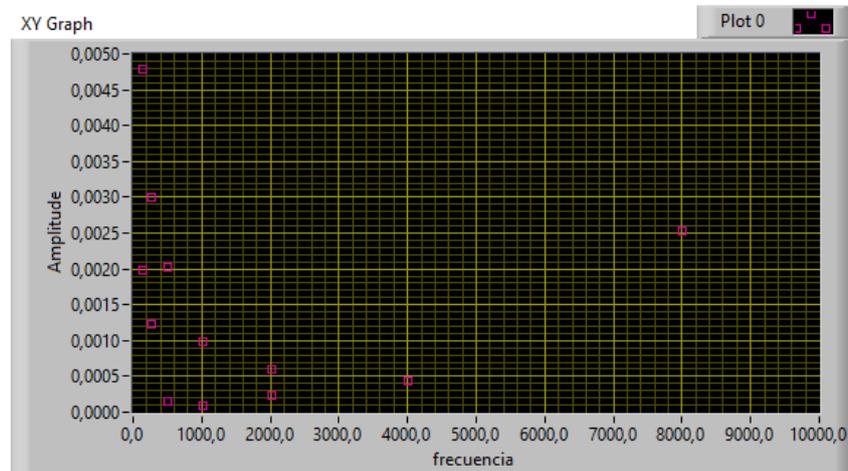


Figura 29. Comparación audiometría/ ecualizador Usuario 2 y 3

En relación con el último usuario, se observó que las frecuencias más bajas solo son percibidas con la amplitud máxima, según los resultados de la audiometría. Durante el ajuste del ecualizador con la amplitud máxima, se evidenció una dificultad para comprender nítidamente las palabras. Por esta razón, se decidió incrementar estas frecuencias a 0,015, al igual que la frecuencia de 1,000 Hz, ya que con una amplitud de 0,01 no lograba escuchar con total claridad.

En el caso de la frecuencia de 2,000 Hz, se destacó que, con una amplitud de 0,15, el usuario percibía todo de manera perfecta. Esta frecuencia se mantuvo inalterada, ya que no presentaba problemas de comprensión. Por otro lado, para las frecuencias altas, se implementó un aumento mayor, colocando la amplitud en 0,02, con el objetivo de lograr una comprensión total de las oraciones. Estos ajustes buscan optimizar la percepción auditiva del usuario y garantizar una experiencia más clara y satisfactoria durante la prueba.

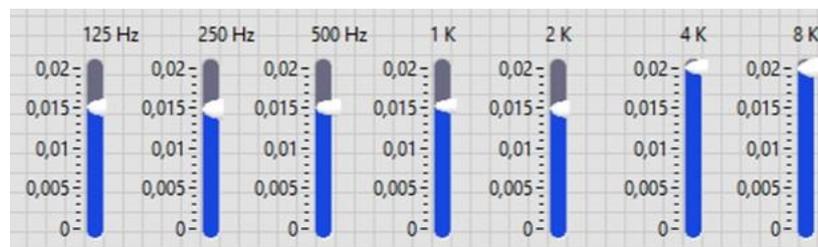


Figura 30. Resultado ecualizador Usuario 4.

En el último análisis auditivo, la persona no pudo oír las frecuencias de 4.000 y 8.000 Hz. Además, las frecuencias bajas se percibieron ligeramente, por lo que en el

ecualizador se ajustaron con amplitudes más altas en comparación con los demás usuarios.

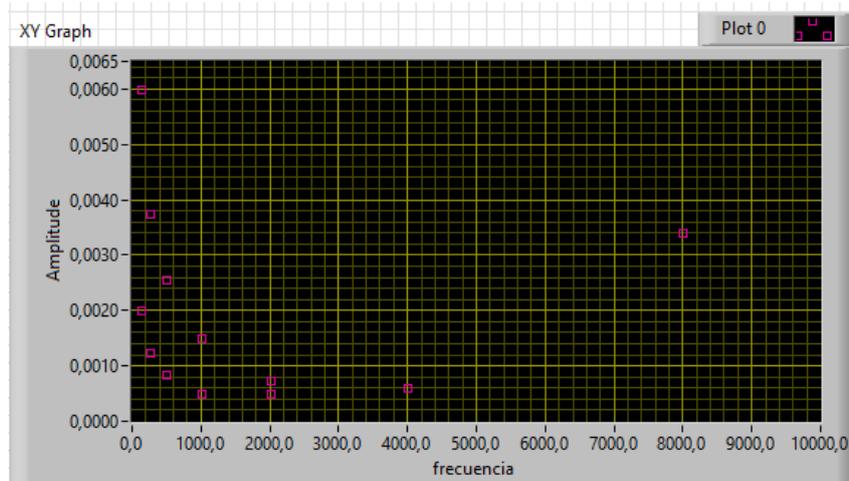


Figura 31. Comparación audiometría/ecualizador Usuario 4

4.2 Evaluación subjetiva del audímetro

Durante este apartado, nos proponemos capturar las experiencias individuales y perspectivas de los participantes que han sido sometidos a las pruebas de audiometrías y han interactuado con el ecualizador. Para llevar a cabo esta evaluación exhaustiva, se implementaron encuestas diseñadas con precisión para obtener percepciones detalladas sobre la eficacia y la satisfacción percibida durante el proceso de evaluación auditiva.

En el análisis detallado de la metodología empleada para recopilar datos subjetivos, se ha dado un énfasis especial a la creación y aplicación de encuestas. Estas encuestas, adaptadas específicamente a las peculiaridades de nuestro estudio, exploran aspectos fundamentales de la evaluación subjetiva. Entre estos aspectos se incluyen la percepción de la claridad del sonido, la comodidad del dispositivo y otras impresiones subjetivas que podrían tener un impacto en la interpretación de los resultados obtenidos en las audiometrías.

Cabe resaltar que estas encuestas no solo buscan obtener la opinión de los participantes sobre las diversas pruebas realizadas, sino que también se esfuerzan por recoger cualquier retroalimentación adicional que pueda ofrecer una comprensión más completa de la experiencia global de los participantes con las evaluaciones auditivas. Esta información adicional contribuirá significativamente a nuestra capacidad para ajustar y mejorar futuros procedimientos de evaluación auditiva.

Primero, procederemos con un análisis de las preguntas vinculadas a las audiometrías y, posteriormente, abordaremos el análisis del ecualizador.

Evaluación de la Comodidad

Emulación de un audífono en tiempo real mediante Labview

Los participantes evaluaron la comodidad durante la prueba de audiometría utilizando una escala de respuesta que incluía las siguientes opciones:

- Muy cómoda
- Cómoda
- Neutral
- Incómoda

Los resultados revelaron que el 75 % de los participantes seleccionaron "Muy cómoda", indicando un alto grado de comodidad durante la prueba. Asimismo, un 25 % calificó la experiencia como "Cómoda". Ningún participante eligió las opciones de "Neutral" e "Incómoda".

Evaluación de molestias o dificultades

Los participantes también fueron solicitados a expresar si experimentaron alguna molestia o dificultad durante la prueba, utilizando una escala de 1 a 5, donde 1 indicaba ninguna molestia y 5 indicaba molestias significativas. Todos los participantes, un total del 100%, indicaron que no experimentaron ninguna molestia durante la prueba.

Evaluación de Niveles de Volumen

Los participantes evaluaron la comodidad de los niveles de volumen durante la prueba:



Figura 32. Evaluación de Niveles de Volumen

En el gráfico, se destaca que el 75% de los participantes expresó que los niveles de volumen eran "Muy Cómodos". Sin embargo, el 25% indicó que algunos tonos eran "Demasiado Bajos", señalando una variación en la percepción de la comodidad auditiva. Este contraste en las respuestas proporciona una visión clara de las distintas experiencias de los participantes en relación con los niveles de volumen durante la prueba.

Distracciones o Factores Externos

Se investigó la presencia de distracciones o factores externos que pudieran afectar la concentración durante la prueba. Los resultados revelaron de manera contundente que el 100% de los participantes indicó que no experimentó ningún factor externo que molestará o afectara su concentración durante la evaluación auditiva. Esta unanimidad

sugiere una ausencia generalizada de distracciones significativas, contribuyendo a un entorno propicio para la realización de la prueba sin interferencias externas.

Evaluación de la Duración de la Prueba

La pregunta sobre la percepción de la duración de la prueba de audiometría arrojó resultados equitativos entre los participantes. Se presentan los hallazgos a continuación:

- Si, la duración fue muy adecuada: 50% de los participantes.
- Neutral, ni corta ni larga: 50% de los participantes.
- No del todo, la duración fue un poco larga.
- No, la duración fue insuficientemente larga.

Estos resultados indican que la mitad de los participantes consideró que la duración de la prueba fue muy adecuada, mientras que la otra mitad expresó una posición neutral respecto a la longitud de la prueba. La diversidad en las respuestas resalta la importancia de adaptar la duración de las audiometrías para satisfacer las preferencias y comodidades individuales de los participantes.

Finalmente, procederemos con un análisis de las preguntas vinculadas al ecualizador.

Percepción de las Diferencias en las Frecuencias

Para visualizar la percepción de los participantes sobre las diferencias en las frecuencias, se presenta el siguiente gráfico

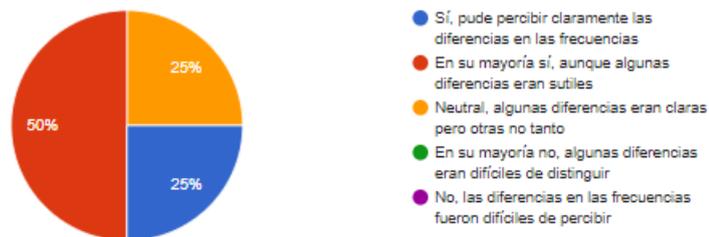


Figura 32. Percepción de las Diferentes Frecuencias

El 50% de los participantes demostró una capacidad sobresaliente para distinguir claramente los cambios en las frecuencias, sugiriendo destrezas auditivas agudas y una percepción finamente ajustada.

El 25% que notó diferencias sutiles indica una sensibilidad auditiva más delicada, donde ciertos cambios pueden ser percibidos aunque no sean tan prominentes.

La experiencia mixta del otro 25%, que percibió algunas diferencias como claras y otras no tanto, subraya la complejidad de la percepción auditiva y cómo la identificación de cambios puede variar según las frecuencias.

En resumen, la diversidad en la percepción de las diferencias en las frecuencias destaca la complejidad y la subjetividad de la experiencia auditiva. Considerar estas variaciones

individuales es esencial al diseñar intervenciones auditivas personalizadas para garantizar una adaptación efectiva a las necesidades específicas de cada individuo.

Claridad del Sonido Proporcionado por el Ecuilizador

La evaluación de la claridad del sonido proporcionado por el ecualizador revela la percepción de los participantes sobre la calidad del sonido durante la prueba. A continuación, se presentan los hallazgos:

- Excelente, la claridad del sonido fue excepcional: 75%
- Buena, la claridad del sonido fue satisfactoria: 25%
- Aceptable, la claridad del sonido fue promedio
- Moderada, hubo algunos problemas de claridad
- Deficiente, la claridad del sonido fue insatisfactoria

En general, estos resultados reflejan una variedad de percepciones sobre la claridad del sonido durante la prueba del ecualizador. La mayoría de los participantes experimentaron una calidad auditiva excepcional o satisfactoria, pero la presencia de problemas moderados indica la necesidad de ajustes o mejoras en ciertos aspectos.

Duración de la Prueba del ecualizador

De forma análoga a la cuestión acerca del tiempo de la audiometría, los resultados revelaron una distribución equitativa de opiniones. La mitad de los participantes opinó que la duración fue muy adecuada, mientras que la otra mitad la percibió de manera neutral, sin considerarla ni corta ni larga.

Satisfacción General con la Prueba de Audiometría y el Ajuste del Ecuilizador

Los resultados indican que la mayoría de los participantes expresaron un alto nivel de satisfacción con la prueba de audiometría y el ajuste del ecualizador, otorgando puntuaciones de 8, 9 y 10 en una escala del 1 al 10. Esto sugiere una percepción general positiva de la experiencia, con una satisfacción que se sitúa en niveles superiores en la escala de evaluación. La consistencia en las respuestas positivas refleja una apreciación general positiva por parte de los participantes en relación con la calidad y la eficacia de las pruebas y ajustes realizados.

Capítulo 5

Conclusiones y líneas futuras

Este trabajo representa una investigación detallada en el campo de las audiometrías y los ecualizadores, materializada a través de dos aplicaciones diseñadas para evaluar la pérdida auditiva y determinar la mínima amplitud con la que cada individuo sometido a esta prueba puede percibir. Durante este proceso, se exploraron las complejidades de la audición humana con el fin de comprender las limitaciones y capacidades auditivas, y se propusieron soluciones tecnológicas prácticas para mejorar la percepción sonora.

La primera aplicación, destinada a llevar a cabo pruebas de audiometrías, ha demostrado ser una herramienta valiosa para evaluar con precisión la capacidad auditiva de los individuos. La recopilación de datos subjetivos, combinada con la capacidad de personalización de la aplicación según las necesidades específicas de cada usuario, brinda una plataforma eficaz y adaptada para evaluar la salud auditiva. En el futuro, se podrían implementar mejoras adicionales, como la capacidad de ajustar cada oído de manera individual, con el propósito de ofrecer una experiencia auditiva aún más personalizada. Además, se trabajará en la optimización para asegurar que el sonido percibido a través de esta aplicación sea lo más limpio y claro posible.

En cuanto a la segunda aplicación, orientada al ecualizador, representa un avance significativo en la optimización de la percepción auditiva. Al facilitar el ajuste de frecuencias para mejorar la percepción con la máxima amplitud, esta herramienta busca elevar la calidad auditiva de aquellos que experimentan pérdida o dificultades auditivas selectivas. A futuro se podría realizar una serie de mejoras, como la capacidad de ajustar cada oído de manera individual, con el objetivo de proporcionar una experiencia auditiva aún más personalizada. Además, se trabajará en la optimización para asegurar que el sonido percibido a través de esta aplicación sea lo más limpio y claro posible.

Finalmente, es crucial destacar que la realización de pruebas con estas aplicaciones debe llevarse a cabo en entornos cómodos y lo más insonorizados posible. Este enfoque se adopta con el fin de minimizar distracciones y prevenir la percepción de sonidos externos durante la prueba, garantizando así resultados más precisos y fiables. Considerando la importancia y el potencial impacto de estas aplicaciones, se contempla la posibilidad de colaborar estrechamente con profesionales de la audiología, instituciones médicas y compañías tecnológicas. Esta colaboración permitiría expandir el alcance y la eficacia de las aplicaciones, así como implementar nuevas funcionalidades basadas en la retroalimentación de los usuarios, asegurando su relevancia y utilidad continua en el campo de la salud auditiva.

Capítulo 6

Referencias

- [1] Manrique M., Marco Algarra J., (2014). Audiología. Ponencia Oficial de la Sociedad Española de Otorrinolaringología y Patología Cérvico-Facial. Available at: <https://seorl.net/PDF/ponencias%20oficiales/2014%20Audiolog%C3%ADa.pdf>
- [2] Rodríguez A., (2015). Determinación de los Umbrales de Audición en la Población Española [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid]. Available at: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/667533/rodriguez_valiente_antonio.pdf?sequence=1
- [3] Colodro Plaza J.,(2020). Evaluación de aptitud psicología para el buceo [Consejo General de la Psicología]. Available at: (<https://www.pstys.cop.es/pdf/Evaluacion-aptitud-psicologica-Buceo.pdf>)
- [4] Martínez Moreno S., (2017). Pruebas Auditivas. Available at: <https://www.audiotek.es/pruebas-auditivas/>
- [5] Valdecasas J.García, Aguadero M.Isabel, Sainz M.,Capitulo 7. Exploración Funcional Auditiva [Hospital Universitario San Cecilio. Granada] Available at: <https://seorl.net/PDF/Otologia/007%20-%20EXPLORACI%C3%93N%20FUNCIONAL%20AUDITIVA.pdf>
- [6] Pruebas auditivas en bebés, niños y jóvenes (2023). Available at:<https://www.gaesjunior.com/pruebas-auditivas-bebes-ninos-adolescentes>
- [7] Enciclopedia Medica A.D.A.M, [Internet]. 1997-2020. Audiometrías; Available at: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003341.htm#:~:text=En%20esta%20prueba%20se%20le,volumen%20m%C3%ADnimo%20requerido%20para%20escuchar.>
- [8] Audiometría. (2022) [Saludemia]. Available at: <https://www.saludemia.com/-/prueba-audiometria>
- [9] Domenech J. Carulla M. Oliveras M. (2018). La Audiometría de Alta Frecuencia.[Centro Auditivo Cuenca]. Available at. <https://www.centroauditivo-valencia.es/2013/07/17/la-audiometr%C3%ADa-de-alta-frecuencia/>
- [10] Historia de los Audífonos (s.f). AlainAfflelou. Available at: <https://audiologia.afflelou.es/noticias/vida-cotidiana/historia-audifonos>
- [11] Tipos de Audífonos. (s.f) [GAES médica]. Available at: <https://www.gaesmedica.com/es-es/tipos-audifonos>
- [12]Tipos de Audífonos-(s.f) [Audiocentro federópticos] Available at: <https://www.audiocentros.com/audifonos/tipos-de-audifono/>
- [13] Moryani Sunny M.(2021). Diseño de un Ecuilizador de Cuatro Bandas [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de la Laguna]. Available at:

<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/24761/Disen%C3%B3deun%20ecualizador%20de%20cuatro%20bandas.pdf?sequence=1&isAllowed>

[14] Téllez Emilio A. (2018) Ecualizador Semi Paramétrico a Transistor [Tesis, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”]. Available at:

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27832/Ecualizador%20a%20Transistores%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

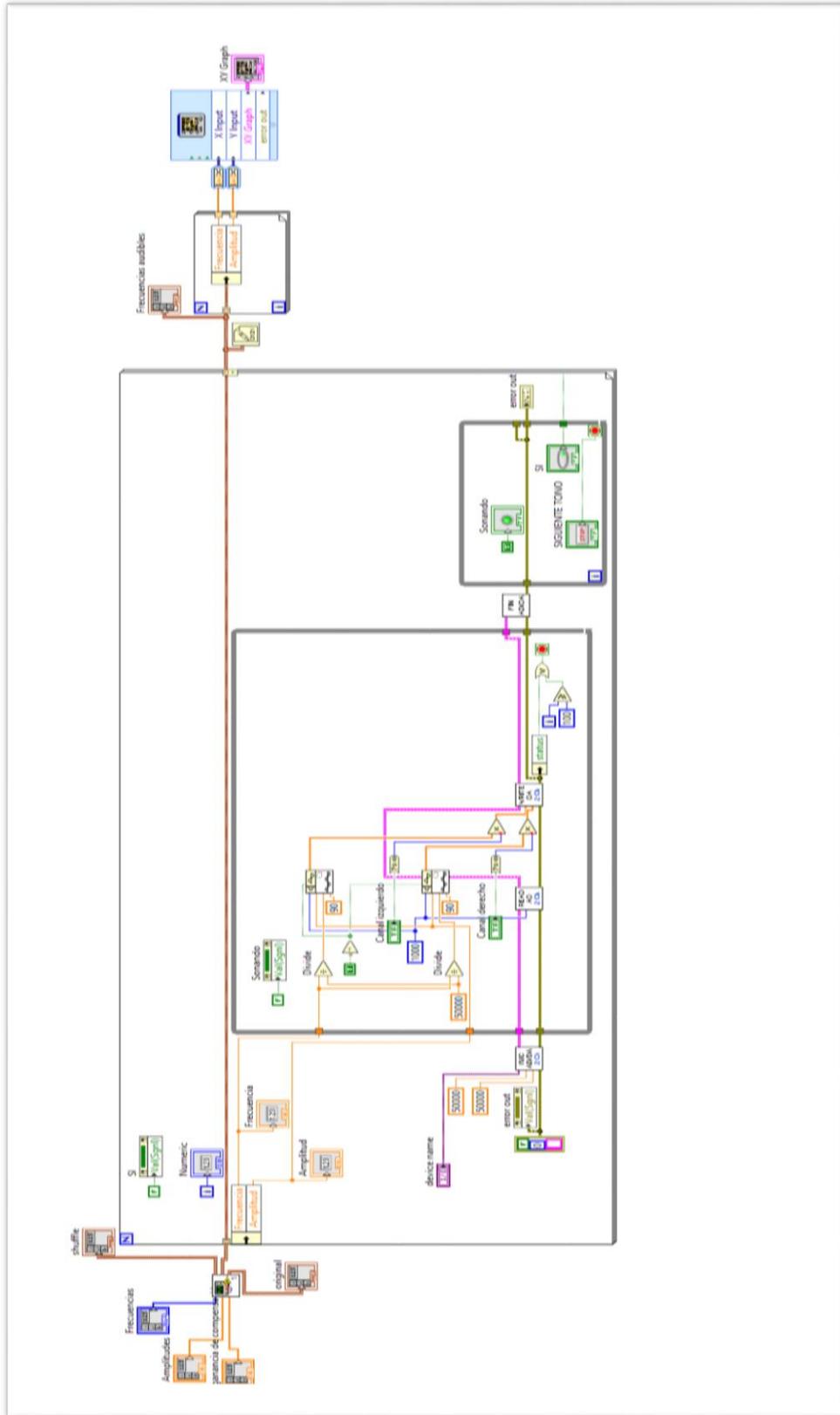
[15] Manríquez Ignacio.R (2017). Diseño y Construcción de un Ecualizador Paramétrico Estéreo de Cuatro Bandas [Trabajo de Fin de Grado, Universidad del Bío-Bío]. Available at:

<file:///C:/Users/User/Downloads/Manr%C3%ADquez%20Chavez,%20Ignacio%20Rodrigo.pdf>

[16] Miyara F. (s.f) Ecualizadores. [Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Argentina]. Available at:

<https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/audio/ecualizadores.pdf>

Anexo A. Aplicación de audiometría



Anexo B. Aplicación de ecualizador

